

65,4 Zn 30 Zink	14,0 N 7 Stickstoff	55,8 Fe 26 Eisen	19,0 F 9 Fluor	131,3 Xe 54 Xenon	27,0 Al 13 Aluminium	35,5 Cl 17 Chlor	32,1 S 16 Schwefel
6,9 Li 3 Lithium	197,0 Au 79 Gold	201,1 Ne 10 Neon	40,1 Ca 20 Calcium	12,0 C 6 Kohlenstoff	63,5 Cu 29 Kupfer		
16,0 O 8 Sauerstoff	23,0 Na 11 Natrium	1,0 H 1 Wasserstoff	28,1 Si 14 Silizium	195,1 Pt 78 Platin	79,9 Br 35 Brom		
	126,9 I 53 Iod	200,5 Hg 80 Quecksilber	39,9 Ar 18 Argon	107,9 Ag 47 Silber	24,3 Mg 12 Magnesium	4,0 He 2 Helium	39,1 K 19 Kalium

Chemie 11 NTG



Hybrides Schulbuch

enthält Mediacodes mit
digitalen Arbeitsblättern, Videos
und Lernerwartungen



Gymnasium Bayern

Periodensystem der Elemente (atomartbezogen)

Periode	Hauptgruppen											
	I	II										
1	1,0 H Wasserstoff 1	2,1	mittlere Atommasse in u									
2	6,9 Li Lithium 3	9,0 Be Beryllium 4	Atomartensymbol									
3	23,0 Na Natrium 11	24,3 Mg Magnesium 12	Elementname									
		0,9	Elektronegativität									
		0,9	Ordnungszahl									
		0,9	Nebengruppen									
		0,9	III	IV	V	VI	VII	VIII				
4	39,1 K Kalium 19	40,1 Ca Calcium 20	45,0 Sc Scandium 21	47,9 Ti Titan 22	50,9 V Vanadium 23	52,0 Cr Chrom 24	54,9 Mn Mangan 25	55,8 Fe Eisen 26	58,9 Co Cobalt 27			
5	85,5 Rb Rubidium 37	87,6 Sr Strontium 38	88,9 Y Yttrium 39	91,2 Zr Zirkonium 40	92,9 Nb Niob 41	95,9 Mo Molybdän 42	[98] Tc* Technetium 43	101,1 Ru Ruthenium 44	102,9 Rh Rhodium 45			
6	132,9 Cs Caesium 55	137,3 Ba Barium 56		178,5 Hf Hafnium 72	180,9 Ta Tantal 73	183,8 W Wolfram 74	186,2 Re Rhenium 75	190,2 Os Osmium 76	192,2 Ir Iridium 77			
7	[223] Fr* Francium 87	226,0 Ra* Radium 88		[261] Rf* Rutherfordium 104	[262] Db* Dubnium 105	[266] Sg* Seaborgium 106	[264] Bh* Bohrium 107	[277] Hs* Hassium 108	[268] Mt* Meitnerium 109			

* radioaktives Element

[Atommasse eines wichtigen Isotops]

schwarz umrandete Kästchen:
Halbmetall-Atome

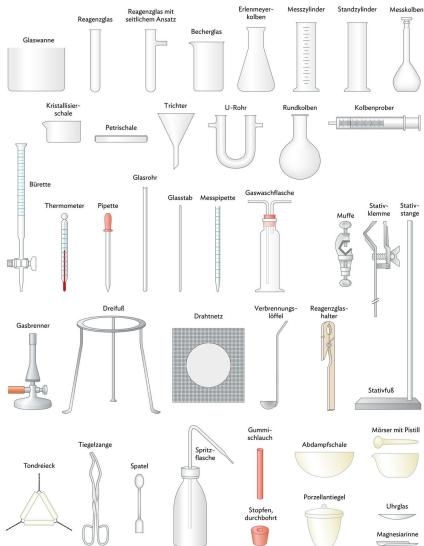
Lanthanoide 6. Periode

138,9 La Lanthan 57	140,1 Ce Cer 58	140,9 Pr Praseodym 59	144,2 Nd Neodym 60	[145] Pm* Promethium 61	150,4 Sm Samarium 62
227,0 Ac* Actinium 89	232,0 Th* Thorium 90	231,0 Pa* Protactinium 91	238,0 U* Uran 92	[237] Np* Neptunium 93	[244] Pu* Plutonium 94

Actinoide 7. Periode

			Hauptgruppen							
			III	IV	V	VI	VII	VIII		
									4,0 He Helium 2	
			10,8 B Bor 5 2,0	12,0 C Kohlenstoff 6 2,5	14,0 N Stickstoff 7 3,0	16,0 O Sauerstoff 8 3,5	19,0 F Fluor 9 4,0	20,2 Ne Neon 10		
			27,0 Al Aluminium 13 1,5	28,1 Si Silicium 14 1,8	31,0 P Phosphor 15 2,1	32,1 S Schwefel 16 2,5	35,5 Cl Chlor 17 3,0	39,9 Ar Argon 18		
I	II								83,8 Kr Krypton 36	
58,7 Ni Nickel 28 1,8	63,5 Cu Kupfer 29 1,9	65,4 Zn Zink 30 1,6	69,7 Ga Gallium 31 1,6	72,6 Ge Germanium 32 1,8	74,9 As Arsen 33 2,0	79,0 Se Selen 34 2,4	79,9 Br Brom 35 2,8	83,8 Kr Krypton 36		
106,4 Pd Palladium 46 2,2	107,9 Ag Silber 47 1,9	112,4 Cd Cadmium 48 1,7	114,8 In Indium 49 1,7	118,7 Sn Zinn 50 1,8	121,8 Sb Antimon 51 1,9	127,6 Te Tellur 52 1,9	126,9 I Iod 53 2,5	131,3 Xe Xenon 54		
195,1 Pt Platin 78 2,2	197,0 Au Gold 79 2,4	200,6 Hg Quecksilber 80 1,9	204,4 Tl Thallium 81 1,8	207,2 Pb Blei 82 1,8	209,0 Bi Bismut 83 1,9	[209] Po* Polonium 84 2,0	[210] At* Astat 85 2,2	[222] Rn* Radon 86		
[271] Ds* Darmstadtium 110	[272] Rg* Roentgenium 111	[277] Cn* Copernicium 112	[284] Nh* Nihonium 113	[289] Fl* Flerovium 114	[288] Mc* Moscovium 115	[293] Lv* Livermorium 116	[293] Ts* Tenness 117	[294] Og* Oganesson 118		
152,0 Eu Europium 63 1,2	157,3 Gd Gadolinium 64 1,1	158,9 Tb Terbium 65 1,2	162,5 Dy Dysprosium 66 1,2	165,0 Ho Holmium 67 1,2	167,3 Er Erbium 68 1,2	168,9 Tm Thulium 69 1,2	173,0 Yb Ytterbium 70 1,2	175,0 Lu Lutetium 71 1,2		
[243] Am* Americium 95 1,3	[247] Cm* Curium 96 1,3	[247] Bk* Berkelium 97 1,3	[251] Cf* Californium 98 1,3	[252] Es* Einsteinium 99 1,3	[257] Fm* Fermium 100 1,3	[258] Md* Mendelevium 101 1,3	[259] No* Nobelium 102 1,3	[262] Lr* Lawrencium 103 1,3		

Übersicht: Laborgeräte



Chemie 11_{NTG}

Gymnasium Bayern

C.C.Buchner

Chemie Bayern – Sek II

Herausgegeben von Ernst Hollweck und Thomas Weingand

Chemie 11 NTG

Chemie für die 11. Jahrgangsstufe an naturwissenschaftlich-technologischen Gymnasien

Bearbeitet von Nadine Boele, Tobias Fröhlich, Simon Haselbauer, Alina Hermann, Ernst Hollweck, Bernhard Lieske, Elisabeth Marschall, Tina Müller, Kerstin Reichenberger, Harald Steinhofer, Thomas Weingand, Philipp Weyer, Fiona Wild und Martin Wild

Zu diesem Lehrwerk sind erhältlich:

- Digitales Lehrmaterial **click & teach** Einzellizenz, WEB-Bestell-Nr. 060441
 - Digitales Lehrmaterial **click & teach** Box (Karte mit Freischaltcode), ISBN 978-3-661-06044-6
- Weitere Lizenzformen (Einzellizenz flex, Kollegiumslizenz) und Materialien unter www.ccbuchner.de.

Dieser Titel ist auch als digitale Ausgabe **click & study** unter www.ccbuchner.de erhältlich.

Die enthaltenen Links verweisen auf digitale Inhalte, die der Verlag bei verlagsseitigen Angeboten in eigener Verantwortung zur Verfügung stellt. Links auf Angebote Dritter wurden nach den gleichen Qualitätskriterien wie die verlagsseitigen Angebote ausgewählt und bei Erstellung des Lernmittels sorgfältig geprüft. Für spätere Änderungen der verknüpften Inhalte kann keine Verantwortung übernommen werden.

An keiner Stelle im Schulbuch dürfen Eintragungen vorgenommen werden.

Haftungshinweis: Die Versuchsvorschriften in diesem Buch wurden sorgfältig, auf praktischen Erfahrungen beruhend, entwickelt. Da Fehler aber nie ganz ausgeschlossen werden können, übernehmen der Verlag und die Autorinnen und Autoren keine Haftung für Folgen, die auf beschriebene Versuche zurückzuführen sind. Mitteilungen über eventuelle Fehler und Vorschläge zur Verbesserung werden dankbar angenommen.

1. Auflage, 1. Druck 2023

Alle Drucke dieser Auflage sind, weil untereinander unverändert, nebeneinander benutzbar.

Dieses Werk folgt der reformierten Rechtschreibung und Zeichensetzung. Ausnahmen bilden Texte, bei denen künstlerische, philologische oder lizenzrechtliche Gründe einer Änderung entgegenstehen.

© 2023 C. C. Buchner Verlag, Bamberg

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlags. Hinweis zu § 60 a, 60 b UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und/oder in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Fotomechanische, digitale oder andere Wiedergabeverfahren sowie jede öffentliche Vorführung, Sendung oder sonstige gewerbliche Nutzung oder deren Duldung sowie Vervielfältigung (z. B. Kopie, Download oder Streaming), Verleih und Vermietung nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags.

Redaktion: Britta Michl, Michaela Heumann

Layout und Umschlag: Petra Michel, Amberg

Satz: mgo360 GmbH & Co. KG, Bamberg

Illustrationen: Stefan Dangel, München; Helmut Holtermann, Dannenberg; Stelzner Illustration & Grafikdesign, Frankfurt; Angelika Kramer, Stuttgart

Druck und Bindung: Firmengruppe Appl, aprinta Druck, Wemding

www.ccbuchner.de

ISBN 978-3-661-06041-5

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

mit diesem Buch halten Sie einen treuen und vertrauten Begleiter für Ihr viertes Lernjahr in Chemie in Ihren Händen. Sie bringen schon viele Kompetenzen und viel Wissen aus den vorherigen Lernjahren mit, das Sie bald neu anwenden können.

Ausgehend von Alltag und Technik werden Phänomene aus chemischer Sicht aufgegriffen, hinterfragt und erklärt. Dabei ist die Arbeit mit Experimenten, Modellen und Quellen essenziell. Digitale Werkzeuge können Sie im Zusammenwirken mit diesem Buch dabei in vielfacher Weise unterstützen und Ihnen so den Zugang zur Chemie erleichtern.

Die Durchführung von Versuchen im Chemieunterricht ist dabei immer geprägt von einem nachhaltigen und verantwortungsvollen Umgang mit Chemikalien. Versuche sind sicher und umweltgerecht zu verwirklichen. Bei der Planung von Experimenten können Sie sich auf den Zugang zu digitalen Gefahsstoffdatenbanken stützen.

Dieser Band startet nach einem Wiederholungskapitel 1 mit zwei Kapiteln zur Lebensmittelchemie. Hierbei werden Vorkenntnisse aus den Fächern Biologie und Chemie aufgegriffen und erweitert. Die Inhaltsstoffe von Lebensmitteln, deren chemische Analyse sowie die Kohlenhydrate als wichtige Makronährstoffgruppe neben Fetten und Proteinen sind hierbei wesentliche Bausteine. Die Verdauung im menschlichen Körper, die Enzyme und Grundsätze für eine ausgewogene und nachhaltige Lebensmittelauswahl runden das Thema ab. Das Abschlusskapitel nimmt zwei Ausschnitte aus dem großen Feld der Pharmazie (Arzneikunde) in den Mittelpunkt. Zum einen geht es hier um Medikamente gegen Sodbrennen und Verdauungshilfsmittel. Zum anderen werden Schmerzmittel und deren Wirkstoffe untersucht.

Ihr Wissen und Ihr Können in der Chemie wird es Ihnen ermöglichen, Errungenschaften der Chemie u. a. in Bezug auf Nachhaltigkeit zu hinterfragen und somit auch Entscheidungen in Ihrem Alltag z. B. bei der Ernährung oder beim Gebrauch von Medikamenten wie Schmerzmitteln fundiert zu treffen.

An verschiedenen Stellen in diesem Buch findest du **QR-Codes** bzw. **Mediencodes** direkt darunter. Scanne den QR-Code mit deinem Smartphone oder gib den Mediencode unter **www.ccbuchner.de/medien** in das Eingabefeld ein. Dadurch gelangst du zu Zusatzmaterialien wie z. B. Lernanwendungen, Videos oder gestuften Hilfen zu den Aufgaben. Eine Übersicht über alle hinterlegten Materialien findest du unter dem QR-/Mediencode 06041-01. Durch Nachlesen und das Lösen vieler Aufgaben kannst du chemische Fachinhalte verstehen und dich selbst testen (Hinweise zu verwendeten Operatoren unter QR-/Mediencode 06041-02). Deine Lehrkraft und auch dieses Buch helfen dir dabei.

Viel Spaß und Erfolg!
Die Herausgeber



06041-01



06041-02

So können Sie mit diesem Buch arbeiten ...

Ihr neues Chemiebuch enthält vier Kapitel. Jedes Kapitel ist in mehrere Untereinheiten unterteilt und enthält eine Reihe verschiedener Seitentypen. Hier erfahren Sie, wie Sie mit diesen Seitentypen arbeiten können.

1. Los geht's

Um festzustellen, ob Sie fit für ein Kapitel sind, können Sie sich auf den Seiten **Startklar?** zunächst selbst einschätzen und anschließend Ihre Einschätzung anhand von Aufgaben überprüfen. Die passenden Arbeitsblätter können Sie unter dem jeweiligen QR-Code bzw. Mediencode abrufen (vgl. Info unten). Die Lösungen finden Sie im Anhang des Buches. Schneiden Sie in einem Bereich nicht so gut ab, bekommen Sie im Auswertungskasten Informationen, an welchen Stellen Sie noch einmal nachlesen sollten.



2. Die Untereinheiten

Die Seiten **Versuche** und **Material** sind der Ausgangspunkt für Ihren Erkenntnisgewinn. Wie alle Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler führen Sie Versuche durch, um neues Wissen zu erlangen. Kleinschrittige Auswertungsaufgaben helfen Ihnen dabei. Gefahrenpiktogramme sowie Entsorgungshinweise (vgl. S. 159 und 160) unterstützen Sie und Ihre Lehrkraft bei der sicheren Durchführung der Versuche.

- V** Schülerversuch
- LV** Lehrerversuch
- M** Arbeitsmaterialien



- A1** anspruchsvolle Aufgabe
- A2** Aufgabe zu prozessbezogenen Kompetenzen

INFO

Im Buch finden Sie **QR-Codes** und **Mediencodes**, die zu Videos, chemischen Programmen, Arbeitsblättern u. ä. führen.

Die QR-Codes können Sie direkt mit Ihrem Smartphone einscannen. Alternativ können Sie den jeweils darunter stehenden Mediencode auf www.ccbuchner.de/medien eingeben.



06041-01

Auf den Seiten **Textseiten** können Sie Neues in leicht verständlichen Texten nachlesen. Dort finden Sie auch Querverweise (z. B. **V1**) zu den Seiten **Versuche** und **Material**. Ausgehend von den Versuchen werden neue Inhalte aufgearbeitet und erklärt.

Das Wichtigste finden Sie in gelb hinterlegten Merkkästen am Ende jeder Text-Doppelseite. Die wichtigsten Fachbegriffe sind auf diesen Seiten jeweils hervorgehoben. Kleine Infokästen bieten Zusatzinformationen zum Text.

Zudem gibt es auf jeder Doppelseite passende Aufgaben.

3. Am Ende des Kapitels

Die wichtigsten Inhalte aus jedem Kapitel werden auf den Seiten **Alles im Blick** kompakt zusammengefasst. Damit können Sie sich gut auf eine Prüfung vorbereiten.



Am Kapitelende warten zudem auf den Seiten **Zum Üben und Weiterdenken** eine große Anzahl bunt gemischter Aufgaben darauf, gelöst zu werden.

Mit den Seiten **Ziel erreicht?** können Sie überprüfen, ob Sie die neuen Inhalte des Kapitels verstanden haben. Das entsprechende Arbeitsblatt können Sie unter dem linken QR-Code bzw. Mediencode herunterladen und Ihre Antworten mit den Lösungen im Anhang abgleichen. Wenn Sie in einem Bereich noch nicht so gut sind, können Sie auf den angegebenen Seiten nochmal nachlesen. Alternativ finden Sie über den rechten QR- bzw. Medien-code eine Lernanwendung zur digitalen Überprüfung der geforderten Kompetenzen. Auf den Seiten **Klausuraufgaben** finden Sie eine Vielzahl materialbasierter Aufgabenblöcke zum jeweiligen Kapitel, welche ideal für die Vorbereitung auf eine anstehende Prüfung geeignet sind.



Sonderseiten



Fachmethoden der Chemie sind Werkzeuge, deren Handhabung gelernt sein will. Auf den Seiten **Fachmethode (FM)** wird Schritt für Schritt erklärt, wofür eine Methode gut ist und wie man sie anwendet. Zudem gibt es Seiten zu **Erkenntnisgewinnungskompetenzen (EK)**, **Kommunikationskompetenzen (KK)** und **Bewertungskompetenzen (BK)** (vgl. Übersicht im hinteren Buchdeckel). Auch hier werden Schritt für Schritt die entsprechenden Kompetenzen an konkreten Beispielen erläutert und veranschaulicht. Natürlich spielen digitale Medien dabei fast immer eine wichtige Rolle.

Keine Wissenschaft kommt heute noch ohne andere Wissenschaften aus. Auf den Seiten **Exkurs** können Sie „über den Tellerrand blicken“. Spannende Themen, z. B. aus Biologie, Physik, Medizin, Umwelt oder Erdkunde, werden wie in einer Zeitschrift vorgestellt.



INFO

Hier und da finden Sie kleine Fachmethoden- und Exkurs-Kästen in der entsprechenden Farbe auch auf anderen Seitentypen.

1 Grundlegendes aus den Jahrgangsstufen 8 – 10 10

Alles im Blick: Grundlegendes aus den Jahrgangsstufen 8 – 10	10
ERKENNTISGEWINNUNGSKOMPETENZ: Den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg gehen	16
FACHMETHODE: Sicher arbeiten im Chemielabor	17
KOMMUNIKATIONSKOMPETENZ: Mit einer Gefahrenstoffdatenbank umgehen	18



2 Lebensmittelchemie – Inhaltsstoffe von Lebensmitteln 20

■ Startklar?	22
2.1 Zusammensetzung von Lebensmitteln	24
2.1.1 Versuche und Material	24
2.1.2 Makro- und Mikronährstoffe	26
2.1.3 Weitere Nahrungsbestandteile	28
2.1.4 EXKURS: Eisenreicher Spinat – Wahrheit oder Mythos?	29
2.1.5 KOMMUNIKATIONSKOMPETENZ: Wissenschaftliche Quellen finden und nutzen	30
2.2 Lebensmittelanalyse – den Inhaltsstoffen qualitativ und quantitativ auf der Spur	32
2.2.1 Versuche und Material	32
2.2.2 Analysemethoden für Lebensmittelinhaltsstoffe	34
2.2.3 Dünnschichtchromatografie (DC)	36
FACHMETHODE: Eine Dünnschichtchromatografie durchführen	37
2.2.4 ERKENNTISGEWINNUNGSKOMPETENZ: Messwerte einer Titration digital erfassen	38
2.2.5 EXKURS: Hochleistungsflüssigkeitschromatografie (HPLC)	39
2.3 Optische Aktivität und chirale Moleküle	40
2.3.1 Versuche und Material	40
2.3.2 Linear polarisiertes Licht	42
2.3.3 Spiegelbildisomerie und FISCHER-Projektion	44
2.3.4 FACHMETHODE: Moleküle in der FISCHER-Projektion darstellen	46
2.3.5 ERKENNTISGEWINNUNGSKOMPETENZ: Chirale Moleküle dreidimensional modellieren	47
2.4 Kohlenhydrate	48
2.4.1 Versuche und Material	48
2.4.2 Monosaccharide	50

2.4.3	Nachweise von Monosacchariden	52
2.4.4	KOMMUNIKATIONSKOMPETENZ: Molekülmodelle von Kohlenhydraten digital darstellen	53
2.4.5	Disaccharide	54
2.4.6	Polysaccharide	56
2.5	Bedeutung von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen in der Ernährung	58
2.5.1	Versuche und Material	58
2.5.2	Lebenswichtige Stoffe für die Energieversorgung	60
2.5.3	Essenzielle Baustoffe und Makronährstoffe in der Ernährung	62
2.5.4	KOMMUNIKATIONSKOMPETENZ: Bio-Moleküle am Computer dreidimensional darstellen	64
■	Alles im Blick	66
■	Zum Üben und Weiterdenken	68
■	Ziel erreicht?	70
■	Klausuraufgaben	72

3 Lebensmittelchemie – Verdauung und Ernährung 74

■	Startklar?	76
3.1	Enzyme in der Verdauung	78
3.1.1	Versuche und Material	78
3.1.2	Funktionsweise von Enzymen	80
	EXKURS: Das Verdauungssystem des Menschen	81
3.1.3	Spezifität und Hemmung von Enzymen	82
3.2	Verdauung und Resorption	84
3.2.1	Versuche und Material	84
3.2.2	Die Bedeutung der Verdauungssäfte	86
3.2.3	Resorption, Transport und Speicherung	88
3.3	Lebensmittelauswahl	90
3.3.1	Versuche und Material	90
3.3.2	Gesunde Ernährung	92
3.3.3	Ernährung – Umwelt und Gesellschaft	94
3.3.4	BEWERTUNGSKOMPETENZ: Möglichkeiten der Lebensmittelauswahl bewerten ...	96



■	Alles im Blick	98
■	Zum Üben und Weiterdenken	100
■	Ziel erreicht?	102
■	Klausuraufgaben	104



4 Pharmazie – Arzneimittel im Verdauungssystem und Schmerzmittel 106

■	Startklar?	108
4.1	Magensäure: Sodbrennen und Medikamente	110
4.1.1	Versuche und Material	110
4.1.2	Magensäure und Sodbrennen	112
4.1.3	Medikamente – Wirkung und Nebenwirkung	114
4.1.4	EXKURS: Der Magen – ein wichtiges Organ für unsere Verdauung	116
4.2	Verdauungshilfsmittel	118
4.2.1	Versuche und Material	118
4.2.2	Typische Verdauungshilfsmittel im Überblick	120
4.3	Schmerzmittel – Zusammensetzung und Anwendung	122
4.3.1	Versuche und Material	122
4.3.2	Zusammensetzung von Schmerzmitteln	124
4.3.3	Synthese von Schmerzmitteln	126
4.3.4	Reflektierte Verwendung von Arzneimitteln	128
4.4	Extraktion und Analyse von Schmerzmittelwirkstoffen	130
4.4.1	Versuche und Material	130
4.4.2	Extraktion und Analyse von Acetylsalicylsäure	132
4.5	Wirkung und Darreichung von Arzneimitteln	134
4.5.1	Versuche und Material	134
4.5.2	Schmerzen und Schmerzmittel	136
4.5.3	Darreichungsformen von Arzneimitteln	138
■	Alles im Blick	140
■	Zum Üben und Weiterdenken	142
■	Ziel erreicht?	144
■	Klausuraufgaben	146

Anhang	148
Lösungen zu „Startklar?“ und „Ziel erreicht?“	148
Entsorgung von Gefahrstoffabfällen	159
GHS – Das international gültige System zur Kennzeichnung von Gefahrstoffen	160
H-Sätze, P-Sätze	161
Chemikalienliste zu den Versuchen	164
Glossar	167
Stichwortverzeichnis	173
Bildnachweis	175
Übersicht: Mono- und Disaccharide nachweisen	176
Übersicht: Weitere Makronährstoffe nachweisen	
Übersicht: Kompetenzbereiche im Fach Chemie	

INFO

Im Buch finden Sie **QR-Codes** und **Mediencodes**, die zu Videos, chemischen Programmen, Arbeitsblättern u.ä. führen.

Die QR-Codes können Sie direkt mit Ihrem Smartphone einscannen. Alternativ können Sie den jeweils darunter stehenden Mediencode auf www.ccbuchner.de/medien eingeben.



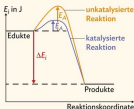
00041-01

1 Grundlegendes aus den Jahrgangsstufen 8 – 10

1 Energieumsatz, Aktivierung und Katalyse bei chemischen Reaktionen

Bei chemischen Reaktionen findet ein **Energieumsatz** statt. Bei **exothermen Reaktionen** wird Wärme an die Umgebung abgegeben und bei **endothermen Reaktionen** aus der Umgebung aufgenommen. Die Differenz zwischen dem Gehalt an innerer Energie der Produkte und Edukte wird als **Reaktionsenergie ΔE_r** bezeichnet. Entsprechend dem **Energieerhaltungssatz** findet bei chemischen Reaktionen eine Energieumwandlung statt.

Die zum Start einer chemischen Reaktion erforderliche Energie wird als **Aktivierungsenergie E_A** bezeichnet. Diese kann durch einen **Katalysator** herabgesetzt werden. Der Katalysator wird dabei nicht verbraucht und hat keinen Einfluss auf die Reaktionsenergie ΔE_r .

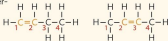


Energiediagramm einer exothermen Reaktion mit und ohne Katalysator

2 Isomerie bei Kohlenwasserstoff-Molekülen

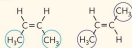
Isomerie nennt man das Auftreten mehrerer Moleküle mit gleicher Molekülformel, aber unterschiedlichem Molekülbau.

Als **Konstitutionsisomerie** bezeichnet man das Auftreten mehrerer Moleküle mit gleicher Molekülformel, aber unterschiedlicher Verknüpfung der Atome im Molekülbau.



Konstitutionsisomere But-1-en (links) und But-2-en (rechts)

Als **E/Z-Isomerie** bezeichnet man die unterschiedliche räumliche Anordnung von Atomen in einem Molekül, die auf der fehlenden Drehbarkeit um eine Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoff-Atomen beruht.



E/Z-Isomere (Z)-But-2-en (links) und (E)-But-2-en (rechts)

3 Alkohole, Aldehyde, Ketone und Carbonsäuren

Die **funktionellen Gruppen** ihrer Moleküle verleihen Stoffen bestimmte physikalische und chemische Eigenschaften. So enthalten Alkohol-Moleküle

Hydroxy-Gruppen, Aldehyd-Moleküle **Aldehyd-Gruppen**, Keton-Moleküle **Keto-Gruppen** und Carbonsäure-Moleküle **Carboxy-Gruppen**.

Alkohole lassen sich mit Ammoniumcer(IV)-nitrat nachweisen, **Aldehyde** und **Ketone** mit 2,4-Dinitrophenylhydrazinlösung (vgl. S. 176). Ein spezifischer Nachweis für Aldehyde ist die **SCHIFFSCHE** Probe (Farbumschlag von farblos nach rosa/violett). Lösungen von **Carbonsäuren** lassen sich mit Säure-Base-Indikatoren nachweisen (vgl. S. 11).



Hydroxy-Gruppe



Aldehyd-Gruppe
Carbonyl-Gruppe



Keto-Gruppe
Carbonyl-Gruppe



Carbonyl-Gruppe
Hydroxy-Gruppe
Carboxy-Gruppe

4 Zwischenmolekulare Wechselwirkungen und physikalische Eigenschaften

Die physikalischen Eigenschaften von Stoffen werden maßgeblich von den Wechselwirkungen zwischen den Teilchen bestimmt (**Struktur-Eigen-schafts-Konzept**).

Als **Wasserstoffbrücken** bezeichnet man besonders starke Wechselwirkungen zwischen einem partiell positiv geladenen Wasserstoff-Atom (δ^+), das an ein Sauerstoff-, Stickstoff-, oder Fluor-Atom gebunden ist und einem nicht-bindenden Elektronenpaar eines partiell stark negativ geladenen Sauerstoff-, Stickstoff-, oder Fluor-Atoms (δ^-) eines anderen Moleküls. **Dipol-Dipol-Wechselwirkungen** treten zwischen Molekülen mit permanenten Dipolen auf, die keine Wasserstoffbrücken bilden. **LONDON-Dispersionswechselwirkungen** treten zwischen allen Teilchen auf. Sie beruhen auf der elektrostatischen Anziehung zwischen temporären Dipolen und sind die schwächsten Wechselwirkungen.

Zwischen Ionen und den Partialladungen der Atome in Dipol-Molekülen kommt es zu sehr starken **Ion-Dipol-Wechselwirkungen**.

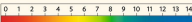
Starke Wechselwirkungen zwischen gleichartigen Molekülen führen zu hohen **Schmelz- und Siedetemperaturen**. Liegen nur schwache Wechselwirkungen vor, sind die entsprechenden Werte bei ähnlicher Molekülgröße deutlich niedriger.

Die **Löslichkeit** eines Stoffes in einem Lösemittel hängt von den Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Molekülen ab. Je stärker sich die Moleküle in ihren Polaritäten ähneln, umso mehr Wechselwirkungen sind untereinander möglich und die jeweiligen Stoffe ineinander löslich. **Hydrophile Stoffe** lösen sich besonders gut in Wasser, **lipophile Stoffe** in Kohlenwasserstoffen, Fetten und Ölen. **Amphiphile Stoffe** enthalten Moleküle mit sowohl polaren als auch unpolaren Anteilen und können daher mit beiden Lösemitteltypen gemischt werden.



5 Saure und basische Lösungen: Stoff- und Teilchenebene

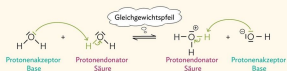
Stoffebene: (Säure-Base-) **Indikatoren** sind Farbstoffe, die den sauren, neutralen oder basischen Charakter einer Lösung durch entsprechende Farbänderung anzeigen. Der **pH-Wert** ist ein Maß für den Charakter einer Lösung. Saure Lösungen haben einen pH-Wert unter 7 und basische Lösungen einen pH-Wert über 7. Eine Lösung mit einem pH-Wert von 7 wird als **neutrale Lösung** bezeichnet. Ein pH-Wert-Unterschied von 1 entspricht einer 10-fachen Verdünnung oder 10-fachen Konzentrationserhöhung einer sauren bzw. basischen Lösung. Ein Universalindikator zeigt je nach pH-Wert unterschiedliche Farben:



Für jede Körperflüssigkeit eines Lebewesens existiert ein pH-Wert, bei dem Lebensvorgänge optimal verlaufen. Schwankungen des pH-Wertes können drastische Auswirkungen für Mensch und Umwelt haben.

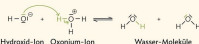
Teilchenebene: **Säuren** sind **Protonendonatoren**, also Teilchen, die Protonen abgeben. **Basen** sind **Protonenakzeptoren**, also Teilchen, die Protonen aufnehmen. Bei einer **Säure-Base-Reaktion** (= **Protonenübergang**) findet ein Protonenübergang von einer Säure auf eine Base statt. Säure-Base-Reaktionen sind **reversibel**. Die Hin- und Rückreaktion stellt man mithilfe eines **Gleichgewichtspfeils** dar.

Bei der Reaktion einer Säure mit einem Wasser-Molekül entsteht ein **Oxonium-Ion** (H_3O^+). Bei der Reaktion einer Base mit einem Wasser-Molekül entsteht ein **Hydroxid-Ion** (OH^-). Dies sind die charakteristischen Teilchen saurer bzw. basischer Lösungen.

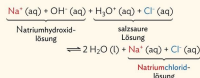


6 Neutralisation und Konzentrationsbestimmung durch Titration

Bei einer **Neutralisationsreaktion** reagieren gleiche Stoffmengen Hydroxid- und Oxonium-Ionen in einer stark exothermen Reaktion zu Wasser-Molekülen.



Dampft man die entstehende Lösung ein, erhält man ein Salz.



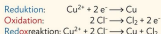
Die Neutralisation kann zur Bestimmung der **Stoffmengenkonzentration c** einer sauren oder basischen Lösung genutzt werden. Die Stoffmengenkonzentration ist der Quotient aus der Stoffmenge n des gelösten Stoffs x und dem Gesamtvolumen V der Lösung:

$$c(x) = \frac{n(x)}{V(\text{Lösung})}$$

Soll die Stoffmengenkonzentration z. B. einer sauren Probelösung mittels **Titration** bestimmt werden, wird ein bestimmtes Volumen der Lösung (**Vorlage**) mit einem passenden Indikator versetzt. Anschließend wird so lange eine basische **Maßlösung** bekannter Stoffmengenkonzentration zugetropft, bis es zum vollständigen Farbumschlag des Indikators kommt. Dieser zeigt den **Äquivalenzpunkt** an, an dem gleiche Stoffmengen von Oxonium- und Hydroxid-Ionen miteinander reagiert haben. Aus dem verbrauchten Volumen der Maßlösung kann die Konzentration der Probelösung berechnet werden.

7 Redoxreaktionen und Oxidationszahlen

Eine **Redoxreaktion** besteht aus zwei Teilreaktionen: Bei der **Oxidation** gibt ein Elektronendonator (Reduktionsmittel) Elektronen ab und wird oxidiert. Bei der **Reduktion** nimmt ein Elektronenakzeptor (Oxidationsmittel) Elektronen auf und wird reduziert. Oxidation und Reduktion können als **Teilgleichungen** ausgedrückt und zu einer **Gesamtgleichung** zusammengefasst werden. Beispiel:



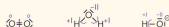
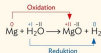
Um festzustellen, welche Atome eines Moleküls oder Molekül-Ions Elektronen aufnehmen bzw. abgeben, nutzt man **Oxidationszahlen** (OZ). Diese lassen sich aus den Valenzstrichformeln von Molekülen und Molekül-Ionen ermitteln. Die Bindungselektronen werden dafür formal aufgeteilt bzw. dem elektronegativeren Bindungspartner zugeordnet. Die Oxidationszahl ergibt sich aus der Differenz zwischen der Anzahl der zugeordneten Valenzelek-

tronen und der Valenzelektronen im ungebundenen Atom.

Alternativ können folgende Regeln genutzt werden. Widersprechen sich zwei Regeln, gilt die zuerst genannte.

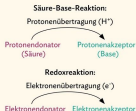
Atome von Elementen	OZ = 0
Atom-Ionen	OZ = Ionenladungszahl
Moleküle	Summe aller OZ = 0
Molekül-Ionen	Summe aller OZ = Ladungszahl des Molekül-Ions
Atome in Verbindungen:	
1. Metall-Atome	positive OZ
2. Fluor-Atome	OZ = -1
3. Wasserstoff-Atome	meist OZ = +1
4. Sauerstoff-Atome	meist OZ = -2
5. Chlor-, Brom- und Iod-Atome	meist OZ = -1

Eine **Erhöhung der Oxidationszahl** entspricht einer **Oxidation** und eine **Erniedrigung der Oxidationszahl** einer **Reduktion**.



8 Säure-Base-Reaktionen und Redoxreaktionen im Vergleich

Sowohl Säure-Base-Reaktionen als auch Redoxreaktionen verlaufen nach dem **Donator-Akzeptor-Konzept**. Sie lassen sich mithilfe von Oxidationszahlen unterscheiden. Ändern sich die Oxidationszahlen, handelt es sich um eine Redoxreaktion. Bleiben alle Oxidationszahlen gleich, kann es sich um eine Säure-Base-Reaktion handeln.



9 Redoxreaktionen in wässrigen Lösungen

Redoxreaktion können in sauren und basischen Lösungen unterschiedlich verlaufen. So entstehen bei der Reaktion von Kaliumpermanganat mit Natriumsulfit in saurer Lösung Mangan(II)-Ionen und in basischer Lösung Mangan(VI)-Ionen.

Beim Aufstellen der Teilgleichungen von Redoxreaktionen in wässrigen Lösungen müssen folgende Schritte berücksichtigt werden:

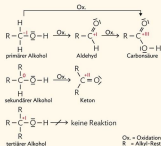
1. Oxidationszahlen ermitteln.
2. Änderung der Oxidationszahlen mit entsprechender Anzahl Elektronen ausgleichen.
3. Ladungen je nach saurem oder basischem Charakter der Lösung mit Oxonium- oder Hydroxid-Ionen ausgleichen.
4. Atom Bilanz mit Wasser-Molekülen ausgleichen.

10 Redoxreaktionen von Alkoholen und Aldehyden

Je nach Stellung der Hydroxy-Gruppe im Molekül unterscheidet man **primäre, sekundäre und tertiäre Alkohole**. Die Moleküle primärer Alkohole können zu Aldehyd-Molekülen bzw. mit starken Oxidationsmitteln zu Carbonsäure-Molekülen oxidiert werden. Die Moleküle sekundärer Alkohole können zu Keton-Molekülen oxidiert werden. Die Moleküle tertiärer Alkohole können in wässrigen Lösungen nicht oxidiert werden.

Die Oxidierbarkeit von Aldehyd-Molekülen macht man sich beim Nachweis von Aldehyden zunutze (vgl. S. 176 ff.). Bei der **Silberspiegelprobe** werden Silber(I)-Ionen zu Silber-Atomen reduziert. Bei der **FEHLING-Probe** werden Kupfer(II)-Ionen zu Kupfer(I)-Ionen reduziert. Die Aldehyde werden jeweils zu Carbonsäuren oxidiert. Ein weiterer

Nachweis für Aldehyde ist die **SCHIFFSche Probe**, bei der keine Redoxreaktion stattfindet.

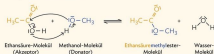


11 Carbonsäureester und Aminocarbonsäuren

Die Moleküle von **Carbonsäureestern** enthalten eine polare funktionelle Gruppe, die **Ester-Gruppe**, an die zwei unpolare Alkyl-Reste gebunden sind. Mit steigen der Länge der Alkyl-Reste sinkt die Löslichkeit der Carbonsäureester in Wasser, da die polare Ester-Gruppe an Einfluss verliert. Aus diesem Grund sind die meisten Carbonsäureester lipophil. Aufgrund der geringen Polarität wirken zwischen Carbonsäureester-Molekülen hauptsächlich London-Dispersionswechselwirkungen und schwache Dipol-Dipol-Wechselwirkungen. Somit ergeben sich niedrigere Siedetemperaturen als die der entsprechenden Alkohole.

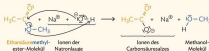


Carbonsäureester kann man in einer säurekatalysierten **Esterkondensation** aus Alkoholen und Carbonsäuren herstellen. Die Reaktion verläuft nach dem **Donator-Akzeptor-Konzept**. Dabei wird ein Elektronenpaar von einem **nukleophilen** Teilchen (Donator) zu einem **elektrophilen** Teilchen (Akzeptor) hin verschoben:

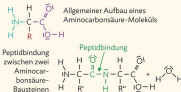


Die Esterkondensation ist **reversibel** (umkehrbar). Die Umkehrreaktion ist die säurekatalysierte **Esterhydrolyse**.

Auch in basischen Lösungen reagieren Ester zu Alkoholen und Carbonsäuren. Die baseninduzierte Esterhydrolyse ist **irreversibel** (nicht umkehrbar):



Die Moleküle von **Aminocarbonsäuren** besitzen eine **Carboxy-Gruppe**, eine benachbarte **Amino-Gruppe** sowie einen individuellen **Aminocarbonsäure-Rest R**. In einer Kondensationsreaktion können sich die Amino-Gruppe eines Aminocarbonsäure-Moleküls (Nukleophil) und die Carboxy-Gruppe eines zweiten Aminocarbonsäure-Moleküls (Elektrophil) unter Abspaltung eines Wasser-Moleküls miteinander verbinden. Es entsteht eine **Peptidbindung**.

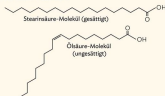


12 Fette

Fette sind Carbonsäureester, die durch Esterkondensation des Alkohols Glycerin (Propan-1,2,3-triol) mit drei **Fettsäuren** (Carbonsäuren) gebildet werden können. Da sich Fette aus unterschiedlich aufgebauten Fett-Molekülen zusammensetzen, gibt es keine exakte Schmelztemperatur, sondern einen Schmelzbereich. Ist das Gemisch aus verschiedenen Fett-Molekülen bei Raumtemperatur flüssig, so spricht man von einem **fetten Öl**.



Für die physikalischen Eigenschaften ist der Bau der Fettsäure-Reste entscheidend. **Gesättigte** Fettsäure-Reste enthalten nur Einfachbindungen zwischen den Kohlenstoff-Atomen, **ungesättigte** Fettsäure-Reste enthalten mind. eine Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoff-Atomen.



Liegen hauptsächlich lange, gesättigte Fettsäure-Reste vor, so führen starke zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu hohen Schmelzbereichen. Da die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen in ungesättigten Fettsäure-Resten meist Z-konfiguriert

sind, weisen die Reste eine abgewinkelte Struktur auf und die Fett-Moleküle können untereinander nicht so gut wechselwirken. Solche Fette schmelzen daher bei niedrigeren Temperaturen. Alle Fette und fetten Öle sind lipophil und hydrophob.

13 Seifen und moderne Tenside

Seifen können aus Fetten durch baseninduzierte Esterhydrolyse (Verseifung) hergestellt werden. Das Natrium- bzw. Kaliumsalz des Fettsäure-Anions (z. B. $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COO}^-$) wird als Seife bezeichnet. Seifen gehören zur Stoffklasse der **Tenside**. Allen Tensiden ist gemeinsam, dass sie **amphiphil** sind. Die Tensid-Teilen haben also einen polaren und einen unpolaren Abschnitt. Man unterscheidet folgende Tensid-Arten:



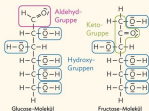
Tensid-Teilen lagern sich aufgrund ihrer polaren und unpolaren Bereiche an der Grenzfläche zwischen unterschiedlichen Stoffen an und setzen dabei die Oberflächenspannung herab. Sie sind **grenzflächenaktiv**. Tenside werden aufgrund dieser Eigenschaft als **Emulgatoren** und als Reinigungsmittel eingesetzt. Die Tensid-Teilen lagern sich mit ihren unpolaren Bereichen an Schmutz-Teilchen an und umschließen diese in Form von **Micellen**, die dann mit dem Wasser abtransportiert werden können.



hydrophiles Lösemittel

14 Monosaccharide und Disaccharide

Mit dem Alltagsbegriff „Zucker“ sind meist Mono- und Disaccharide gemeint. **Monosaccharid**-Moleküle enthalten Hydroxy-Gruppen sowie eine Aldehyd- oder Keto-Gruppe:

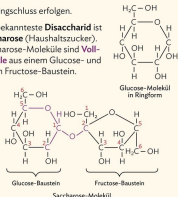


Glucose- und Fructose-Moleküle sind Konstitutionsisomere, die in basischer Lösung ineinander (oder in andere Isomere) umgewandelt werden können. Diese Umlagerung bezeichnet man als **Keto-Enol-Tautomerie**. Aufgrund dessen verlaufen Aldehydnachweise in basischer Lösung sowohl mit Glucose als auch mit Fructose positiv.

Durch eine **nukleophile Addition** kann aus der offenkettigen Form der Monosaccharid-Moleküle

ein Ringschluss erfolgen.

Das bekannteste **Disaccharid** ist **Saccharose** (Haushaltszucker). Saccharose-Moleküle sind **Voll-acetale** aus einem Glucose- und einem Fructose-Baustein.



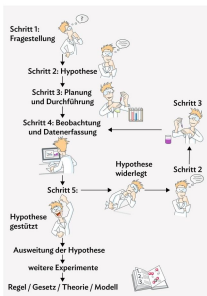
Kohlenhydrate sind Energielieferanten für den Körper. Mono- und Disaccharide sollten jedoch nur in geringem Umfang aufgenommen werden. Bei der Auswahl der Lebensmittel für eine gesunde Ernährung hilft der Ernährungskreis.

Den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg gehen

Forschende versuchen, bekannte Sachverhalte zu erklären und Vermutungen zur Vorhersage noch unbekannter Phänomene aufzustellen. Ihre Erkenntnisse sowie die entsprechenden Regeln und Gesetzmäßigkeiten können sie auf einem bestimmten Weg, dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg (B1), gewinnen.

VORGEHEN

- 1. Fragestellung:** Leiten Sie aus einem Alltagsphänomen eine Problemstellung ab, die mithilfe von Versuchsergebnissen beantwortet werden kann.
- 2. Hypothese (= überprüfbare Vermutung):** Stellen Sie aus Ihren Kenntnissen und Erfahrungen eine experimentell überprüfbare Vermutung auf. Diese Hypothese soll aufgrund der Versuchsergebnisse gestützt werden oder sie stellt sich als falsch heraus und wird somit widerlegt.
- 3. Planung (mit Material) und Durchführung:** Überlegen Sie sich ein Experiment, mit dem Sie die Hypothese überprüfen können. Planen Sie das Experiment möglichst genau. Notieren Sie die Durchführung so, dass jemand anderes das Experiment wiederholen und die Ergebnisse überprüfen kann. Recherchieren Sie die Gefahrsstoffkennzeichnung aller Edukte und Produkte (vgl. S. 18 f.). Achten Sie auf den sicherheitsgerechten Umgang und entsorgen Sie die Stoffe umweltgerecht (vgl. S. 159).
- 4. Beobachtungen und Datenerfassung:** Sie können direkt mit Ihren Sinnen (z. B. Sehsinn) beobachten oder Daten mit Messgeräten (z. B. Waage) erfassen. Formulieren Sie hier noch keine Erklärungen.
- 5. Interpretation mit Hypothesenprüfung:** Werten Sie Ihre Beobachtungen bzw. Daten geeignet aus (z. B. Tabelle, Diagramm). Interpretieren Sie unter Einbezug der Blindproben die Beobachtungen und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen bei der Durchführung. Entscheiden Sie, ob Ihre Hypothese gestützt oder widerlegt wird.
 - a) Hypothese widerlegt: Stellen Sie eine neue Hypothese auf und überprüfen Sie diese durch Experimente.
 - b) Hypothese gestützt: Führen Sie weitere Experimente durch, um die Hypothese zu bestätigen, zu konkretisieren oder auszuweiten. Wenn die Hypothese ausreichend gestützt wird, können Sie eine allgemeingültige Regel oder ein Gesetz ableiten. Das Gesetz sollte wiederum mit Experimenten überprüft werden.



B1 Der naturwissenschaftliche Erkenntnisweg

Sicher arbeiten im Chemielabor

Meldungen über Unfälle im Chemieunterricht gibt es zum Glück nur selten. Das ist bemerkenswert, denn in keinem anderen Schulfach werden so gefährliche Substanzen benutzt wie im Chemieunterricht. Der Grund für

diese funktionierende Sicherheit sind die **Sicherheitsvorkehrungen**, die für den Chemieunterricht gelten, um Unfälle zu vermeiden.

Die 10 „goldenen Regeln“ für die Sicherheit im Chemieunterricht

- 1** Chemielehrerinnen und -lehrer erkennen viele Gefahren, die von Gegenständen oder Stoffen im Chemieraum ausgehen. Darum:
Betreten Sie Chemieräume nur nach der Lehrkraft!

- 2** Essen und trinken Sie nicht im Chemieraum!
Um einen Kontakt mit den giftigen Chemikalien auch nach der Chemiestunde zu verhindern:
Waschen Sie sich nach dem praktischen Arbeiten die Hände!

- 3** Tragen Sie im Chemielabor immer eine Schutzbrille!
Augenverletzungen können bereits beim Holen der Chemikalien und auch beim Aufräumen entstehen, darum setzen Sie die Schutzbrille als erstes auf und als letztes ab!

- 4** Richten Sie Reagenzglasöffnungen niemals auf Personen!
Sollte trotzdem einmal etwas ins Auge gehen, spülen Sie das Auge sofort gründlich mit der Augendusche. So können Sie größere Augenschäden vermeiden.

- 5** Berühren Sie niemals Chemikalien mit den Händen, außer Sie haben die Erlaubnis von der Lehrkraft!

- 6** Lassen Sie nichts Unnötiges auf dem Tisch liegen, wenn Sie mit Feuer (offenen Flammen) umgehen!
Binden Sie lange Haare zu einem Zopf zusammen!
Ziehen Sie lange Kleidung an, die aus Baumwolle besteht und nicht zu weit ist!

- 7** Halten Sie sich genau an die Versuchsvorschriften und Anweisungen der Lehrkraft!
Wenn einmal etwas unklar ist, fragen Sie nach.
Wenn Sie ein Experiment selbst geplant haben, lassen Sie sich von der Lehrkraft die Erlaubnis geben, dieses auch so durchführen zu dürfen.

- 8** Chemikalien dürfen nicht verunreinigt werden:
Entnehmen Sie Chemikalien immer nur in kleinen Mengen mit einem sauberen Spatel oder einer Pipette!
Haben Sie einmal zu viel entnommen, geben Sie den Rest nicht zurück in die Vorratsflasche!

- 9** Informieren Sie die Lehrkraft, wenn Sie etwas verschüttet haben oder wenn sich jemand verletzt hat!

- 10** Reinigen Sie nach dem praktischen Arbeiten die Arbeitsflächen und entsorgen Sie die Chemikalien vorschriftsmäßig (vgl. Entsorgungshinweise auf S. 159)!

Mit einer Gefahrenstoffdatenbank umgehen

Das Wissen über Gefahrstoffe ist die Grundlage, die Unfallgefahr im Labor niedrig halten zu können. Eine frei zugängliche Gefahrenstoffdatenbank, die GESTIS-Stoffdatenbank (B1), wird von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) online zur Verfügung gestellt.

GESTIS-Stoffdatenbank

[www.dguv.de/stoffdatenbank](https://gestis.dguv.de/stoffdatenbank)

GESTIS ist das Gefahrenstoffdatenbanksystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung.



B1 GESTIS-Stoffdatenbank (<https://gestis.dguv.de/>)

Die Gefahrenstoffdatenbank GESTIS

Die GESTIS-Stoffdatenbank enthält Informationen zu über 8700 Stoffen. Anhand des Namens oder der Identifikationsnummern findet man physikalische und chemische Daten, Informationen zur Toxikologie, zur Ersten Hilfe und zum sicheren Umgang sowie die einzuhaltenen Vorschriften.

Die Einstufung von Chemikalien ist einer ständigen Entwicklung ausgesetzt. Das Gefahrenpotenzial eines Stoffes sollte vor jedem Versuch erneut überprüft werden, auch wenn man schon oft mit diesem gearbeitet hat.

VORGEHEN

1. Rufen Sie die Website <https://gestis.dguv.de/> auf.
2. Informieren Sie sich im Bereich „Home“ und unter dem Reiter „Inhalte“ kurz über die Arbeit mit der Datenbank (B2).

- IDENTIFIKATION
- CHARAKTERISIERUNG
- FORMEL
- PHYSIKALISCH-CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN
- TOXIKOLOGIE / ÖKOTOXIKOLOGIE
- ARBEITSMEDIZIN UND ERSTE HILFE
- SICHERER UMGANG
- VORSCHRIFTEN
- LINKS
- LITERATURVERZEICHNIS

B2 Übersicht über die enthaltenen Daten eines Stoffdatenblattes

3. Die Suchfunktion bietet die Möglichkeiten, nach Stoffname, (Identifikations-)Nummern oder Summenformel (Molekül- bzw. Verhältnisformel) zu suchen. Optional ist auch eine Volltextsuche verfügbar, um noch mehr über eine(n) Stoff-(gruppe) zu erfahren.

Home	Liste A-Z	Suche	Datenblatt
Stoffname Suchen Stoffnummer Suchen Summenformel Suchen Volltextsuche Suchen			

Tippen Sie bei „Stoffname“ den gewünschten Suchbegriff ein. Die Funktion „Suchen“ liefert alle Stoffe, in deren (systematischen) Namen der Begriff enthalten ist. Die „Exakte Suche“ liefert in der Regel ausschließlich den gesuchten Stoff.

4. Klicken Sie auf den Namen, um zum Stoffdatenblatt zu gelangen.
5. Zur Offline-Nutzung können Sie sich das gesamte Stoffdatenblatt oder Teile davon ausdrucken oder als PDF-Datei herunterladen.

Tipps und Tricks bei der Recherche

Unser Magensaft enthält eine stark saure Lösung, die auch im Labor hergestellt werden kann, indem man das Gas Wasserstoffchlorid in Wasser einleitet. Der Gefahrstoff Wasserstoffchlorid (B3) wird jedoch auch als Chlorwasserstoff, Salzsäuregas oder Hydrogenchlorid bezeichnet. Nicht immer sind in Gefahrenstoffdatenbanken die IUPAC-Namen hinterlegt.



B3 GHS-Symbole für das Gas Wasserstoffchlorid (bzw. Chlorwasserstoff)

Auch Chemikerinnen und Chemiker benennen im Labor nicht immer jeden Stoff systematisch. Ein Beispiel ist das streng riechende Gas Ammoniak. Es löst sich sehr gut in Wasser und reagiert auch mit diesem. Arbeitet man im Labor mit „Ammoniak“ ist häufig jedoch eine Ammoniaklösung gemeint.

Unterschiedliche Bezeichnungen und sprachliche Ungenauigkeiten können die Suche in einer Gefahrenstoffdatenbank erschweren. Mit ein paar Kniffen kann man vielen Problemen bei der Recherche nach Gefahrstoffen vorbeugen.

VORGEHEN

1. Nehmen Sie sich ausreichend Zeit für die Recherche und arbeiten Sie gewissenhaft. Eine fehlerhafte Recherche kann fatale Folgen haben.
2. Kennen Sie mehrere Bezeichnungen eines Stoffes, so propieren Sie alle aus, bis die Suche erfolgreich ist. Alternativ können Sie auch über eine weitere Suchmaschine nach der Identifikationsnummer eines Stoffes suchen.
3. Die Eingabe der Molekül- bzw. Verhältnisformel (in GESTIS „Summenformel“) erfolgt teilweise entgegen der Gewohnheit alphabetisch nach Atomartsymbol.
Hinweis: Molekül-Ionen, z. B. das Sulfat-Ion SO_4^{2-} , werden gebunden in Molekülen meist als Einheit angegeben: H_2SO_4 statt $\text{H}_2\text{O}_4\text{S}$ (B4).
Es können auch Klammern verwendet werden, z. B. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.
4. Überprüfen Sie anhand der (Halbstruktur-) Formeln der im Stoff enthaltenen Teilchen im Datenblatt, ob Sie auch wirklich den gesuchten Stoff recherchiert haben (B4).

INFO

Nicht nur die Bezeichnungen, auch die Formeln werden in Datenbanken teilweise in ungewohnter Weise geschrieben. Lassen Sie sich davon nicht verwirren.

FORMEL



Molmasse: 98,08 g/mol

B4 Kapitel „Formel“ des Datenblattes von Schwefelsäure

AUFGABEN

- A1 Geben Sie in der GESTIS-Stoffdatenbank die verschiedenen Begriffe für den Stoff Wasserstoffchlorid ein und identifizieren Sie den Namen, der in der Datenbank hinterlegt ist.
- A2 Vergleichen Sie die Eigenschaften von „Ammoniak, wasserfrei“ sowie „Ammoniak, wässrige Lösung“ und benennen Sie Gefahren, die durch fehlerhafte Recherche vor einem Versuch mit „Ammoniak“ drohen.
- A3 Aufgrund der stark wassergefährdenden Eigenschaften von Ammoniaklösung darf die Entsorgung auf keinen Fall über den Ausguss erfolgen. Recherchieren Sie die korrekte und umweltgerechte Entsorgung einer Ammoniaklösung.
- A4 Testen Sie die Suchfunktion anhand der Formel von Wasserstoffchlorid, Wasserstofffluorid, Natriumoxid und Calciumoxid.
- A5 Ethanol kann über die Atemwege, die Haut und den Verdauungstrakt aufgenommen werden. Recherchieren Sie die Folgen bei Exposition und beschreiben Sie Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit Reinigungsmitteln oder Desinfektionsmitteln, die Ethanol enthalten.
- A6 Bier enthält Ethanol und spielt in der bayerischen Tradition eine kulturelle Rolle. Ethanol als Gefahrstoff zu klassifizieren ist für viele daher nicht naheliegend. Der Stoff kann jedoch bei Versuchen in Kombination mit anderen Stoffen heftig, teils explosionsartig reagieren. Recherchieren Sie in der Stoffdatenbank GESTIS nach Stoffen, die diese Reaktionen auslösen können und listen Sie drei auf.
- A7 Geben Sie in der Suchfunktion der Gefahrstoffdatenbank die Molekülformel (in GESTIS „Summenformel“) $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ein und stellen Sie die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der beiden Stoffe Ethanol und Dimethylether tabellarisch dar.

INFO

Bei der Planung eines Experiments kann das sogenannte STOP-Prinzip hilfreich sein. Die Buchstaben stehen für Schutzmaßnahmen, die der Reihenfolge nach zu prüfen und anzuwenden sind:

Substitution (Ersatz eines Gefahrstoffs durch einen Stoff mit geringerer Gefährdung)

Technische Schutzmaßnahmen (z. B. Abzug, Schutzschleusen)

Organisatorische Schutzmaßnahmen (z. B. kleinerer Maßstab, Verdünnung)

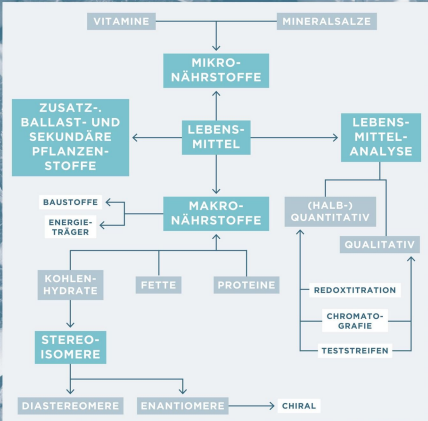
Persönliche Schutzmaßnahmen (z. B. Schutzhülle, Handschuhe, Atemschutz)

2 Lebensmittelchemie – Inhaltsstoffe von Lebensmitteln





Arbeitsblatt unter
QR-/Mediencode
06041-03



Startklar?

Schätzen Sie Ihre Kompetenz in den Bereichen A bis D ein und prüfen Sie sich anhand der entsprechenden Aufgaben (Arbeitsblatt unter QR-/Mediencode 06041-04).



06041-04

Unter QR-/Mediencode 06041-05 finden Sie außerdem eine Lernanwendung zur digitalen Überprüfung der geforderten Kompetenzen.



06041-05

Kompetenz	sehr gut	gut	schwierig
A pH-Werte interpretieren und Säure-Base-Titrationen erklären	---	---	---
B Isomerie bei Kohlenstoffwasserstoff-Molekülen zuordnen und die Verbindungen eindeutig benennen	---	---	---
C Ausgewählte Kohlenhydrate anhand ihres molekularen Baus einordnen und vergleichen	---	---	---
D Den Bau sowie die Eigenschaften von Fetten und Proteinen beschreiben	---	---	---
E Nachweismethoden zuordnen	---	---	---

KOMPETENZ A: pH-Werte interpretieren und Säure-Base-Titrationen erklären

- A1** Im Labor sollen die pH-Werte von Leitungswasser, Apfelsaft und Seifenlösung bestimmt werden.
- Geben Sie an, was der pH-Wert über eine Lösung aussagt.
 - Nennen Sie drei Indikatoren, mit denen man den pH-Wert der oben stehenden Lösungen bestimmen kann und geben Sie deren Farben in den jeweiligen Lösungen an.
- A2** Flüssiger Rohrreiniger enthält Natriumhydroxid. Beschreiben Sie schrittweise ein experimentelles Vorgehen, mit dem Sie den Natriumhydroxidgehalt des Rohrreinigers bestimmen können.

KOMPETENZ B: Isomerie bei Kohlenstoffwasserstoff-Molekülen zuordnen und die Verbindungen eindeutig benennen

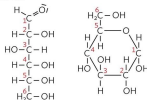
- B1** Bei dem 2-Methylbutan-Molekül und dem 2,2-Dimethylpropan-Molekül handelt es sich um Isomere.
- Zeichnen Sie die Halbstrukturformeln der beiden Moleküle und erklären Sie anhand dieses Beispiels die Konstitutionsisomerie.
 - Geben Sie begründet an, ob sich die beiden Stoffe anhand ihrer physikalischen Eigenschaften unterscheiden lassen.

- B2** Für das folgende Molekül lassen sich zwei unterschiedliche Halbstrukturformeln zeichnen. Geben Sie beide möglichen Halbstrukturformeln an und benennen Sie diese eindeutig.



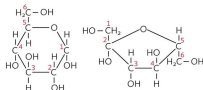
KOMPETENZ C: Ausgewählte Kohlenhydrate anhand ihres molekularen Baus einordnen und vergleichen

- C1** Vergleichen Sie die Moleküle der beiden Monosaccharide Glucose und Fructose anhand von Valenzstrichformeln hinsichtlich der funktionellen Gruppen.
- C2** In wässriger Lösung liegen Glucose-Moleküle in offenkettiger Form und in Ringform im Gleichgewicht vor.



Erklären Sie auf Teilchenebene und unter Verwendung der Fachsprache, wie der Ringschluss bei der Glucose erfolgt.

- C3** Saccharose, ein Disaccharid, besteht aus einem Glucose- und einem Fructose-Baustein.



- Stellen Sie die Reaktionsgleichung zur Bildung des Saccharose-Moleküls auf.
- Erklären Sie anhand der unter a) angefertigten Reaktionsgleichung, was man unter einem Halbacetal und einem Vollacetal versteht.

KOMPETENZ D: Den molekularen Bau sowie die Eigenschaften von Fetten und Proteinen beschreiben

- D1** Fette werden durch eine Kondensationsreaktion zwischen einem dreiwertigen Alkohol und drei Fettsäuren gebildet.
- Geben Sie die funktionellen Gruppen der Edukte und Produkte an.
 - Beschreiben Sie den Unterschied zwischen gesättigten und ungesättigten Fettsäure-Resten.
 - Vergleichen Sie die physikalischen Eigenschaften von Fetten mit vielen bzw. wenigen ungesättigten Fettsäure-Resten in den Molekülen.

- D2** Die Moleküle von Proteinen bestehen aus Ketten verknüpfter Aminocarbonsäure-Bausteine.
- Beschreiben Sie den allgemeinen Aufbau eines Aminocarbonsäure-Moleküls.
 - Erstellen Sie die Reaktionsgleichung mit Valenzstrichformeln für die Peptidbildung aus einem 2-Amino-3-methylbutansäure- und einem 2-Aminopropansäure-Molekül. Kennzeichnen Sie die Peptidbindung im Produkt-Molekül.

KOMPETENZ E: Nachweismethoden zuordnen

- E1** Kohlenhydrat-Moleküle tragen diverse polare funktionelle Gruppen. Kreuzen Sie in der Tabelle an, welche funktionelle Gruppe mit welchem Test nachgewiesen werden kann.

	Aldehyd-Gruppe	Hydroxy-Gruppe	Keto-Gruppe
Silberspiegelprobe	---	---	---
Schirrsche-Probe	---	---	---
Ammoniumcer(IV)-nitrat	---	---	---
Dinitrophenylhydrazin	---	---	---

- E2** Beschreiben Sie einen Versuch, mit dessen Hilfe Milchsäure (2-Hydroxypropansäure), Ethanol und Propansäure unterschieden werden können.

Vergleichen Sie Ihre Antworten mit den Lösungen auf den Seiten 148 f. und geben Sie sich die entsprechende Punktzahl.

Kompetenz	sehr gut	gut	schwierig	zum Nachlesen
A pH-Werte interpretieren und Säure-Base-Titrationen erklären	11 – 9	8 – 5	4 – 3	S. 11 – 12
B Isomerie bei Kohlenstoffwasserstoff-Molekülen zuordnen und die Verbindungen eindeutig benennen	12 – 10	9 – 6	5 – 4	S. 10
C Ausgewählte Kohlenhydrate anhand ihres molekularen Baus einordnen und vergleichen	19 – 16	15 – 10	9 – 5	S. 15
D Den molekularen Bau sowie die Eigenschaften von Fetten und Proteinen beschreiben	15 – 14	13 – 8	7 – 4	S. 14, Biologie-Unterlagen
E Nachweismethoden zuordnen	9 – 8	7 – 4	3 – 2	S. 15, 176 f.



2.1 Zusammensetzung von Lebensmitteln

Durch die Vielfalt an zur Verfügung stehenden Nahrungsmitteln nimmt man täglich etliche Inhaltsstoffe auf. Welche Bedeutung haben diese für den menschlichen Körper, wie lassen sie sich kategorisieren und wie sind sie chemisch aufgebaut?

2.1.1 Versuche und Material

M/V Zusammensetzung eines Weißwurstfrühstücks

Gefährdungsbeurteilung
schülerabhängig

M1 Für ein traditionelles Weißwurstfrühstück wird nicht viel benötigt: Wesentlicher Bestandteil sind Weißwürste, dazu werden openfrische Laugenbrenzen gereicht, sowie süßer Senf. Welche Stoffgruppen sind in diesem Frühstück enthalten?

Recherchieren Sie die Inhaltsstoffe eines Weißwurstfrühstücks und ordnen sie diese nach selbstgewählten Kriterien.



B1 Weißwurstfrühstück

V2 Fette, Kohlenhydrate und Proteine gehören zu den sogenannten Makronährstoffen. Planen Sie anhand Ihrer Kenntnisse aus den früheren Jahrgangsstufen eine Versuchsreihe, um die in einem Weißwurstfrühstück enthaltenen Makronährstoffe nachzuweisen. Recherchieren Sie das Gefahrenpotenzial der benötigten Chemikalien (vgl. S. 18 f.) und leiten Sie notwendige Maßnahmen für eine sicherheitsgerechte Durchführung der Versuche ab. Führen Sie die Versuche nach Rücksprache mit der Lehrkraft durch. (Hilfen unter QR-/Mediencode 06041-06).



AUSWERTUNG

- Notieren Sie Ihre Beobachtungen bei **V2** und gehen Sie dabei insbesondere auf die von Ihnen recherchierten Makronährstoffe ein.
- Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen in Ihrer Versuchsreihe.

ENTSORGUNG: schülerabhängig

M Vitamine und Mineralsalze – die beiden Gruppen der Mikronährstoffe

M3 Vitamine zählen zu den Mikronährstoffen. Vitamin C und die verschiedenen Vitamine der B-Gruppe sind hydrophil, also wasserlöslich, und werden über den Darm in die Blutbahn aufgenommen. Sie können kaum im Körper gespeichert werden. Überschüssige Mengen dieser Vitamine werden über den Urin wieder ausgeschieden.

Die Vitamine A, D, E und K werden ebenfalls über den Darm in die Blutbahn aufgenommen, können jedoch als lipophile, also fettlösliche Vitamine im Fettgewebe und in der Leber gespeichert werden. Ihre Ausscheidung erfolgt über den Darm.

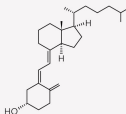
M4 Auch Mineralsalze zählen zu den Mikronährstoffen. Für den menschlichen Körper sind bestimmte Ionen von Bedeutung (**B2**).

Ion	Tagesbedarf
Kalium-Ionen K^+	4000 mg
Chlorid-Ionen Cl^-	2300 mg
Natrium-Ionen Na^+	1500 mg
Calcium-Ionen Ca^{2+}	1000 mg
Eisen-Ionen Fe^{2+}/Fe^{3+}	10 mg
Zink-Ionen Zn^{2+}	14 mg
Fluorid-Ionen F^-	3,8 mg
Iodid-Ionen I^-	0,2 mg

B2 Mittlerer Tagesbedarf eines Erwachsenen an Mineralsalzen bzw. deren Ionen

AUSWERTUNG

- Erstellen Sie anhand von **M3** eine Mindmap zum Thema „Vitamine“.
- Begründen Sie anhand der Formel in **B3**, dass Vitamin D3 fettlöslich ist. Leiten Sie geeignete Lösemittel für die Zubereitung ab.



B3 Strukturformel des Vitamin-D3-Moleküls

- Recherchieren Sie die Bedeutung, das Vorkommen und den täglichen Bedarf eines Vitamins Ihrer Wahl.
- Recherchieren Sie die Bedeutung und das Vorkommen je eines der in **B2** angegebenen Ionen der Mineralsalze.

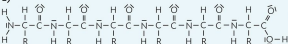
M Makro- oder Mikronährstoffe?

M5

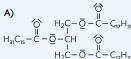
AUSWERTUNG

- Ordnen Sie die Stoffe mit den Formeln A bis E jeweils einer Nährstoffgruppe zu.
- Unterteilen Sie die Stoffe in hydrophile und lipophile Stoffe.
- Beschreiben Sie jeweils die Bedeutung der Nährstoffgruppen für den menschlichen Körper.

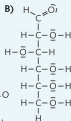
E)



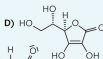
A)



B)



D)



C) NaCl

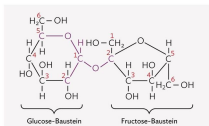
2.1.2 Makro- und Mikronährstoffe

Makronährstoffe

Kohlenhydrate, Fette und Proteine bezeichnet man als **Makronährstoffe**. Die Aufnahme von Kohlenhydraten ist für die Energieversorgung der Zellen wichtig, während Proteine als Baustoffe für den Körper dienen. Fette liefern dem Körper sowohl Energie als auch Baumaterial.

Kohlenhydrate

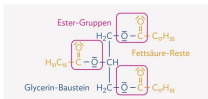
Kohlenhydrate sind die Hauptenergielieferanten in der Nahrung. Es handelt sich um Stoffe, deren Moleküle aus Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoff-Atomen bestehen und die meist mit der allgemeinen Molekülformel $C_nH_{2n}O_n$ beschrieben werden können. Zur Stoffklasse der Kohlenhydrate gehören Monosaccharide, Disaccharide und Polysaccharide. Monosaccharide wie Glucose (Traubenzucker) und Fructose (Fruchtzucker) sind aus Molekülen mit je einem Kohlenhydrat-Baustein aufgebaut. Sie enthalten Hydroxy-Gruppen sowie je eine Aldehyd- oder Keto-Gruppe (vgl. S. 15). Mit Glucose und Fructose verläuft die Silberspiegelprobe positiv (V2, vgl. S. 177). Disaccharide, z. B. Saccharose (Haushaltszucker, B1), bestehen aus Molekülen mit je zwei Kohlenhydrat-Bausteinen. Die Moleküle der Polysaccharide bestehen aus sehr vielen miteinander verbundenen Kohlenhydrat-Bausteinen. Das Polysaccharid Stärke lässt sich mithilfe der Iod-Stärke-Probe nachweisen (V2, vgl. S. 178).



B1 Chemische Formel eines Saccharose-Moleküls

Fette

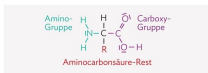
Fette gehören zur Stoffgruppe der Carbonsäureester. Ihre Moleküle sind aufgebaut aus je einem Glycerin-Baustein (Propan-1,2,3-triol), der mit drei Carbonsäure-Resten (Fettsäure-Resten) verestert ist (B2). Natürliche Fette wie Butter, Schmalz oder verschiedenen Pflanzenöle enthalten sowohl gesättigte als auch ungesättigte Fettsäure-Reste in den Molekülen (vgl. S. 14). Fette lassen sich mit der Fettleckprobe nachweisen (V2, vgl. S. 178).



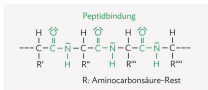
B2 Chemische Formel eines Fett-Moleküls

Proteine

Proteine bestehen aus großen Molekülen, die aus vielen miteinander verbundenen Aminosäure-Bausteinen aufgebaut sind. Im menschlichen Körper kommen 21 verschiedene Aminosäuren vor, zwölf davon sind essenziell und müssen mit der Nahrung zugeführt werden. Alle Aminosäuren besitzen eine gemeinsame Molekülstruktur (B3). Die Moleküle werden über Peptidbindungen zu langen Protein-Molekülen verbunden (B4, vgl. S. 14). Die Reihenfolge der verknüpften Aminosäure-Bausteine ist für jedes Protein-Molekül charakteristisch. Proteine lassen sich zum Nachweis mit sauren Lösungen ausfällen (V2, vgl. S. 178).



B3 Chemische Formel eines Aminocarbonsäure-Moleküls



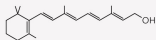
B4 Chemische Formel eines Protein-Moleküls (Ausschnitt)

Die Mikronährstoffe

Neben den Makronährstoffen übernehmen auch Vitamine und Mineralsalze als **Mikronährstoffe** viele lebenswichtige Funktionen, obwohl sie keine Energie liefern. Im Gegensatz zu Makronährstoffen wirken sie im Körper bereits in kleinsten Mengen.

Vitamine

Vitamine sind lebenswichtige Nährstoffe, die sehr vielfältige Aufgaben als Schutz-, Regulator- und Wirkstoffe erfüllen. Aus chemischer Sicht bilden sie keine einheitliche Stoffgruppe, sondern sind molekular sehr unterschiedlich aufgebaut. Eine Einteilung erfolgt je nach Aufnahme, Speicherung und Ausscheidung in lipophile und hydrophile, also fett- bzw. wasserlösliche Vitamine (**M3**). Der Mensch benötigt insgesamt 13 Vitamine: Vitamin A, C, D, E, K und verschiedene B-Vitamine. Selbst herstellen kann der menschliche Körper lediglich zwei: Niacin, das auch als Vitamin B3 bezeichnet wird, und bei ausreichender Sonneneinstrahlung Vitamin D3. Die restlichen elf Vitamine sind essenziell, d. h. sie müssen in ausreichender Menge mit der Nahrung aufgenommen werden. Zahlreiche Obst- und Gemüsesorten enthalten den roten Farbstoff β -Carotin, aus dem im Körper Vitamin A hergestellt wird (**B5**). β -Carotin wird deshalb auch als Provitamin A bezeichnet. Vitamin A unterstützt das Wachstum und die Neubildung von Zellen, stärkt die Nasenschleimhaut als Barriere gegen Krankheitserreger und ist für den Sehvorgang wichtig. So spielt Vitamin A beim Aufbau des Sehpigments Rhodopsin („Sehpurpur“) in der Netzhaut eine wichtige Rolle. Rhodopsin ist eine Verbindung aus einem Protein (Opsin) und einem Oxidations-



B5 Skelettformel von Retinol (Vitamin A1)

produkt des Vitamin A (Vitamin A-Aldehyd). Ein Mangel an Vitamin A hat eine erhöhte Infektionsanfälligkeit, Trockenheit der Haut, Nachtblindheit, verringerte Sehschärfe oder erhöhte Lichtempfindlichkeit zur Folge.

Mineralsalze

Unter dem Begriff **Mineralsalze** fasst man Bau- und Wirkstoffe in Ionenform zusammen (**M4**). Die verschiedenen Mineralsalze erfüllen im Körper zahlreiche Aufgaben und sind wichtig, um Leistungsfähigkeit und Gesundheit zu erhalten. Beispielsweise werden Eisen-Ionen als zentraler Bestandteil roter Blutkörperchen für den Sauerstofftransport benötigt (vgl. Exkurs S. 29). Die Mineralsalze, die im menschlichen Körper die größte Masse ausmachen, sind Calciumsalze. Sie sorgen für die Stabilität von Knochen und Zähnen und sind für die Blutgerinnung wichtig. Außerdem leiten Sie elektrische Signale im Nervensystem weiter und bewirken die Kontraktion von Muskeln. Auch in der Zelle sind sie für die Weiterleitung von Signalen verantwortlich. Bei einem Calciummangel werden Calcium-Ionen aus den Knochen gelöst. Die Knochen dienen also auch als Speicherort. Die Folgen sind abnehmende Knochendichte und damit einhergehende vermehrte Knochenbrüche. Das Krankheitsbild, das vor allem ältere Personen betrifft, ist unter dem Namen Osteoporose oder „Knochenschwund“ bekannt.

Zu den **Makronährstoffen** zählen Fette, Kohlenhydrate und Proteine. Diese dienen im Körper der Energieversorgung der Zellen sowie als Baustoffe und müssen deshalb in ausreichender Menge aufgenommen werden.

Mikronährstoffe werden zwar nur in geringen Mengen benötigt, erfüllen aber die unterschiedlichsten Aufgaben im Körper. Auch sie müssen dem Körper regelmäßig durch Nahrung zugeführt werden.

AUFGABEN

- A1** Zeichnen und vergleichen Sie die Strukturformeln der Moleküle von Linolsäure (9Z,12Z-Octadeca-9,12-diensäure) und Linolensäure (9Z,12Z,15Z-Octadeca-9,12,15-triensäure).
- A2** Vergleichen Sie den Bau eines Aminocarbonsäure-Moleküls, eines Fettsäure-Moleküls und eines Monosaccharid-Moleküls.
- A3** Recherchieren Sie die Inhaltsstoffe von Kartoffeln, Schokolade und Milch und ordnen Sie diese jeweils den Makro- oder Mikronährstoffen zu.
- A4** Unter Vitamin A versteht man genau genommen eine Stoffgruppe ähnlicher Verbindungen, die alle zu Retinol (Vitamin A1, **B5**) reagieren können. Retinol kann direkt aus tierischen oder indirekt aus pflanzlichen Produkten aufgenommen werden.
- a) Erklären Sie anhand des Molekülbbaus die Einordnung von Retinol als lipophiles Vitamin.
- b) Rohkostsalat wird häufig mit einem Essig-Öl-Dressing verfeinert. Beurteilen Sie, warum dieses Dressing nicht nur aus Geschmacksgründen sinnvoll ist.

2.1.3 Weitere Nahrungsbestandteile

Ballaststoffe

Der Zellwandbestandteil Cellulose, der Holzstoff Lignin oder der im Obst enthaltene Quellstoff Pektin sind für den Menschen unverdauliche Bestandteile pflanzlicher Nahrung. Diese sogenannten Ballaststoffe müssen trotzdem in ausreichender Menge mit der Nahrung aufgenommen werden, da sie wichtig für eine geregelte Verdauung sind. Sie sorgen für ein Sättigungsgefühl, regen die Darmtätigkeit an und stärken durch eine gesunde Darmflora das Immunsystem.



B6 Alle pflanzlichen Lebensmittel enthalten Ballaststoffe.

Sekundäre Pflanzenstoffe

Unter dem Oberbegriff sekundäre Pflanzenstoffe wird eine Gruppe chemisch sehr unterschiedlicher Verbindungen zusammengefasst. Allen Vertretern ist gemeinsam, dass sie zu den Naturstoffen gehören und für die Pflanze nicht lebensnotwendig sind. Einige sekundäre Pflanzenstoffe wie die Alkaloide Nicotin und Atropin sind für Menschen giftig. Den meisten sekundären Pflanzeninhaltsstoffen werden jedoch gesundheitsfördernde Eigenschaften zugeschrieben oder zumindest diskutiert. Beispielsweise zeigen Studien einen positiven Einfluss von Flavonoiden auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen und bestimmte Krebserkrankungen. Flavonoide sind Farbstoffe, die unter anderem in Äpfeln, Beeren, Zwiebeln, Auberginen und Soja vorkommen. Durch eine abwechslungsreiche Ernährung werden täglich ca. 1,5 g sekundärer Pflanzenstoffe aufgenommen. Bei rein vegetarischer Ernährung liegt die aufgenommene Menge meist deutlich höher.

Weitere Zusatzstoffe

Nahrungsmittel werden vom Erzeuger häufig so verändert, dass diese den Wünschen und Erwartungen der Konsumenten entsprechen. Außerdem soll eine störungsfreie Produktion der Lebensmittel unter bestimmten Qualitätskriterien sichergestellt werden. Dafür werden häufig Zusatzstoffe zugesetzt, z. B.:

- Farbstoffe zum Einfärben des Lebensmittels,
- Farbstabilisatoren, um die Zersetzung von natürlichen Farbstoffen zu verhindern,
- Konsistenzgeber, um durch Gelier- und Bindemittel die gewünschte Konsistenz des Lebensmittels zu erreichen,
- Emulgatoren als Verbindungssubstanz für Fett und Wasser,
- Konservierungsmittel zur Hemmung des Wachstums von Mikroorganismen.

INFO

Von der EU werden für alle Stoffe, die als Lebensmittelzusatzstoff im europäischen Wirtschaftsraum zugelassen sind, E-Nummern vergeben. Diese bestehen aus einem vorangestellten E, einem Leerzeichen und einer nachfolgenden drei- oder vierstelligen Zahl. Verschiedene chemische Substanzen können unter derselben E-Nummer zusammengefasst sein. Diese werden dann durch einen angefügten Kleinbuchstaben unterschieden.

Ballaststoffe sind unverdauliche Bestandteile vorwiegend pflanzlicher Nahrung, die eine geregelte Verdauung gewährleisten. Sekundäre Pflanzenstoffe sind nicht essenziell, wirken jedoch zumeist gesundheitsfördernd. Zusatzstoffe werden Lebensmitteln zugesetzt, um z. B. Geschmack, Aussehen und Haltbarkeit zu optimieren.

AUFGABEN

A1 Beurteilen Sie, ob die unter QR-/Mdiencode 06041-07 angegebenen Mahlzeiten eine ausreichende Menge an Ballaststoffen enthalten.



06041-07

A2 Stellen Sie anhand einer Recherche tabellarisch die gesundheitliche Wirkung der im Text genannten sekundären Pflanzenstoffe zusammen.

A3 Die Bestandteile eines Naturproduktes wie einer Tomate könnten mit folgender Auflistung beschrieben werden: Wasser, natürliche Aromastoffe, Füllstoff E 460, Geschmacksverstärker E 621, Farbstoff E 160a/E 160d/ E 101, Gelliermittel E 440, Antioxidationsmittel E 300, Säuerungsmittel E 296/E 330. Recherchieren Sie die Bestandteile und beschreiben Sie deren Funktionen.

2.1.4 Eisenreicher Spinat – Wahrheit oder Mythos?

Ionen des chemischen Elements Eisen sind für fast alle Lebewesen essenziell. Bei grünen Pflanzen sind sie für die Funktion von Enzymen bei der Photosynthese bedeutsam. In tierischen Lebewesen sind Eisen-Ionen vor allem für die Blutbildung lebensnotwendig.

Spurenelemente wie Eisen sind in Ionenform in geringen Konzentrationen als Bestandteil in allen Lebewesen enthalten. Die regelmäßige Versorgung mit Eisen-Ionen ist lebensnotwendig, da diese eine zentrale Bedeutung in vielen unterschiedlichen Stoffwechselvorgängen haben. Sie sind essenziell für Sauerstoffaufnahme und -transport und somit für den gesamten Energiestoffwechsel. Gerade wegen dieser bedeutenden Rolle kann eine Unter-, aber auch eine Überversorgung des menschlichen Körpers zu den unterschiedlichsten Krankheitsbildern führen.

Eisen(II)-Ionen sind ausschließlich in tierischen Lebensmitteln enthalten. Sie können vom Körper gut aufgenommen und verwertet werden. Pflanzliche Lebensmittel enthalten vor allem Eisen(III)-Ionen, die deutlich schlechter resorbiert werden. Sie werden jedoch beispielsweise bei gleichzeitiger Aufnahme von Vitamin C zu Eisen(II)-Ionen reduziert. Frischer Spinat enthält mit ca. 3 mg je 100 g ähnlich viele Eisen(III)-Ionen wie anderes dunkelgrünes Blattgemüse. Dennoch hielt sich fast ein Jahrhundert lang der Mythos vom Spinat als eisenreichstem Lebensmittel.

Wie es zu diesem Mythos kam, lässt sich nicht mehr ganz nachvollziehen. In vielen Büchern und dem Internet findet sich die Geschichte einer verschobenen Dezimalstelle. Demnach soll im 19. Jahrhundert bei einer Veröffentlichung ein Komma um eine Dezimalstelle verrutscht

sein, sodass ein 10-fach höherer Gehalt an Eisen-Ionen im Spinat angenommen wurde.

Ein anderer Erkläransatz bezieht sich auf die Verwechslung von frischem und getrocknetem Spinat. Da frischer Spinat ca. 90 % Wasser enthält, ist sein Gesamtgewicht deutlich höher und der prozentuale Anteil an Eisen-Ionen dementsprechend geringer, als in getrocknetem Spinat.

Möglicherweise waren auch schlicht die damaligen experimentellen Methoden ungenau und fehlerbehaftet. So könnten die untersuchten Proben mit Eisen-Ionen kontaminiert und der als frisch angenommen Spinat bereits antrocknet gewesen sein.

Die Wahrheit hinter den diversen Mythen werden wir vielleicht niemals erfahren. Die Verwirrung konnte dadurch zustande kommen, dass Daten vielfach ohne Überprüfung wiedergegeben, Vermutungen als Fakten dargestellt und Quellen nicht korrekt zitiert wurden. So wird der Mythos um die verschobene Dezimalstelle nach wie vor vielfach als Fakt verbreitet, obwohl ein Beweis oder eine entsprechende Originalquelle dazu nicht bekannt ist.

Der Mythos um den „eisenreichen Spinat“ wurde zudem von der Zeichentrickfigur Popeye befeuert, der sich ausschließlich von Spinat ernährte (B2). Tatsächlich tat er dies aber aufgrund des hohen Gehalts an β -Carotin, was der Körper zu Vitamin A verwerten kann.

Auch wenn Spinat ähnlich viele Eisen-Ionen enthält, wie anderes dunkelgrünes Blattgemüse, ist Spinat sogar ein eher schlechter Eisenerlieferant. Die Spinatpflanze enthält sehr viele Oxalate, die die Aufnahme von



B1 Frischer Spinat: Ein guter Eisenerlieferant?

Eisen-Ionen im Darm erschweren. Gute Eisen-Ionen-Lieferanten sind neben Fleisch vor allem Nüsse und Hülsenfrüchte.

(Quellen: Sutton, M. (2010) Spinach, Iron and Popeye. IJC Primary Research Paper; Sutton, M. (2010) The Spinach, Popeye, Iron, Decimal Error Myth is Finally Busted. Best Thinking.)



B2 Popeye der Spinatmatrose

AUFGABEN

A1 Bearbeiten Sie die KK-Seiten

„Wissenschaftliche Quellen finden und nutzen“ (S. 30 f.) und beschreiben Sie mit Fachbegriffen, wie die Verwirrung um den „eisenreichen Spinat“ und das verrutschte Komma zustande kommen konnte.

A2 Beschreiben Sie auf Grundlage einer Recherche je ein Krankheitsbild, das auf eine Unter- bzw. eine Überversorgung des Körpers mit Eisen-Ionen zurückzuführen ist.

2.1.5 Wissenschaftliche Quellen finden und nutzen

In allen Arbeiten, die wissenschaftlichen Ansprüchen genügen sollen, müssen Quellen angegeben sein. Die Angabe von Zitaten und zugehörigen Quellen erfüllt unter anderem folgende Zwecke:

- Trennung von eigenem und fremdem Gedanken: Eine wissenschaftliche Arbeit erfordert immer einen Anteil an eigenen Gedanken. Die Angabe von Zitaten drückt auch Respekt gegenüber dem ursprünglichen Autor aus.
- Nachweise für nicht selbst aufgestellte Behauptungen: Die Lesenden der Arbeit haben so die Möglichkeit, die Belege für die Korrektheit einer Aussage nachvollziehen zu können.

A Auswahl der Literatur

Welche Kriterien werden angewendet, um wissenschaftlich belastbare Quellen zu identifizieren? Zur Beantwortung dieser Frage lohnt es sich, zunächst verschiedene Arten von Literatur zu betrachten. **B1** zeigt drei Kategorien für wissenschaftliche Veröffentlichungen.

Art der Literatur	Inhalte
Primärliteratur	Veröffentlichung durch Forschende, die ein peer-review, also eine Begutachtung durch Fachkolleginnen und -kollegen durchlaufen hat (vgl. Info).
Sekundärliteratur	Fachbücher, Forschungsstandberichte etc., die keine eigene Forschung darstellen, sondern einen Überblick über ein Thema geben.
Tertiärliteratur	Lexika oder Enzyklopädien, die durch Einträge zu Schlagworten Sekundärliteratur zusammenfassen.

B1 Sortierung von Literatur nach Verarbeitungsgrad

INFO

Viele Artikel (auch als „Paper“ bezeichnet) werden heute als sogenannte **Preprints** veröffentlicht. Dabei wird ein fertiges Schriftstück schon vor dem Abdruck in einer Fachzeitschrift meist online publiziert. Üblicherweise fehlt hier noch die Begutachtung durch Fachkolleginnen und -kollegen, die zur Sicherstellung des Qualitätsniveaus erforderlich ist.

VORGEHEN

1. Nutzen Sie **Tertiärliteratur** als Einstieg in die Recherche zu einem Thema. Sie dient als Quelle für alle Arten von Definitionen und Begriffsklärungen.
2. Verwenden Sie **Sekundärliteratur**, um einzelne Themenbereiche vertieft zu betrachten.

Die Zusammenfassungen aus einem Lexikon genügen nicht mehr. In Fachbüchern finden sich oft schon die meisten notwendigen Informationen für schulische Themen.

3. Sehr spezielle Details, gerade aus der aktuellen Forschung, zitieren Sie aus **Primärliteratur**.
4. Ein weiterer Aspekt zur Beurteilung ist die **Aktualität** der Publikation (**B2**). Im Laufe der Zeit können früher geläufige Hypothesen, z. B. die Unteilbarkeit des Atoms, durch weitere Forschungsergebnisse, z. B. die Existenz von Protonen, Neutronen und Elektronen im Atom, widerlegt werden. Eine Quelle, die auch heute noch die Unteilbarkeit des Atoms behauptet, ist somit nur noch dann zulässig, wenn ein historischer Vergleich gezogen werden soll.

Checkliste

- **Handelt es sich um (gedruckte) Primär-, Sekundär- oder Tertiärliteratur?**
Dann ist die Quelle verwendbar!
- **Handelt es sich um eine Online-Ausgabe einer Fachzeitschrift?**
Dann ist die Quelle verwendbar!
- **Handelt es sich um eine Internetquelle eines vertrauenswürdigen Autors (z. B. einer Universität, eines anerkannten Forschungsinstituts)?**
Dann ist die Quelle unter Angabe des Abrufdatums verwendbar!
- **Handelt es sich um eine Internetquelle von einem unbekannten Autor ohne Datumsangabe?**
Die Quelle ist nicht verwendbar!

B2 Kriterien für wissenschaftliche Literatur

B Ideen zur Recherche

Bekannt ist nun, nach welcher Art von wissenschaftlicher Literatur gesucht werden soll. Doch wie findet man passende Quellen und an welcher Stelle fängt man mit der Recherche an?

VORGEHEN

1. **Online-Enzyklopädien** (z. B. Wikipedia) können Ihnen für den Einstieg in die Recherche wertvolle Hinweise liefern. Am Ende jedes Artikels steht in der Regel eine Liste mit Einzelnachweisen für entsprechende Textpassagen. Nutzen Sie eine Online-Enzyklopädie jedoch nicht als Quelle für eine wissenschaftliche Arbeit.

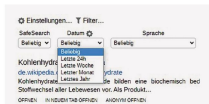
2. Verschaffen Sie sich einen breiteren Überblick, indem Sie **übliche Suchmaschinen** nutzen. Für viele Themen bieten diese eine Vielzahl an Ergebnissen.

3. Nutzen Sie neben den üblichen Suchmaschinen auch **wissenschaftliche Suchmaschinen**. Beispiele dafür sind „Google Scholar“, „BASE“ und „MetaGer“. Diese bieten über Filter die Möglichkeit, nach Fachbereichen, Datum, Sprache etc. zu sortieren (B3).

Tipp: Auch in angrenzenden Fachbereichen, z. B. in Physik und Biologie, wird Ihr Thema eventuell behandelt.

4. Universitätsbibliotheken bieten **OPACs** (Open Public Access Catalogues) an. Diese Kataloge sind auf die Recherche spezialisiert und bieten einige Hilfestellungen:

- In der Suchmaske existieren ausgefeilte Einstellungen und Filter (B4). Während Stichwörter Begriffe aus dem Titel sind, gibt es über die Schlagwortsuche die Möglichkeit, Themengebiete einzugrenzen. Gelegentlich helfen auch Synonyme, um weitere Quellen zu entdecken.
- In den Ergebnislisten werden weitere Filter angeboten, z. B. um einzelne Fachbereiche ein- oder auszuschließen.



B3 Filter nach Datum in einer wissenschaftlichen Suchmaschine



B4 OPAC-Suchmaske, eigene Darstellung

Tipp: Haben Sie ein passendes Werk gefunden, suchen Sie direkt nach den Autoren. Viele werden weitere Veröffentlichung zum gleichen Thema verfasst haben, vielleicht sogar aktuelleren Datums.

INFO

Handelt es sich bei der gefundenen Literatur um online **nicht frei zugängliches Material**, gibt es verschiedene Möglichkeiten, um an den Inhalt zu gelangen. Die Computer in den öffentlichen Arbeitsbereichen der Universitätsbibliotheken haben über Universitäts-Lizenzen oft Zugriff auf eine Vielzahl von Online-Ressourcen, die nicht frei verfügbar sind. Gedruckte Literatur kann entweder vor Ort gelesen werden oder über die Fernleihe Ihrer örtlichen Bücherei bestellt werden.

C Literatur gefunden! Und dann?

VORGEHEN

- Erstellen Sie direkt nach dem Lesen einer passenden Textstelle einen Bibliografie-Eintrag. Dieser sollte mindestens Informationen zu Autor, Titel und Auflage enthalten.
- Notieren Sie für Internetquellen zusätzlich das Datum des Abrufs. Der Inhalt einer Webseite kann sich schnell ändern, sichern Sie sich den aktuellen Stand im Idealfall als Ausdruck im PDF-Format mit Angabe der vollständigen Internetadresse.
- Ergänzen Sie den Eintrag optional um Notizen zum behandelten Thema, zu besonders wichtigen Kapiteln etc.

AUFGABEN

- Wählen Sie den ersten Artikel zum Thema Ernährung in einer aktuellen Ausgabe der lokalen Tageszeitung und recherchieren Sie wissenschaftliche Quellen zu den angesprochenen Sachverhalten. Vergleichen Sie ihre Quellen mit denen Ihrer Mitschülerinnen und Mitschüler und diskutieren Sie die Verwendbarkeit in einer wissenschaftlichen Arbeit.
- Recherchieren Sie wissenschaftliche Quellen zur Zusammensetzung eines Lebensmittels Ihrer Wahl. Erstellen Sie, basierend auf der Recherche, eine Präsentation, um positive und negative Auswirkungen auf Ihren Körper durch dieses Lebensmittel darzustellen.
- Ergänzen Sie die Präsentation aus A2 um eine gezielt platzierte Falschinformation, entfernen Sie direkte Quellenangaben und lassen Sie in der Klasse abstimmen, an welcher Stelle die Falschinformation platziert wurde.



2.2 Lebensmittelanalyse – den Inhaltsstoffen qualitativ und quantitativ auf der Spur

Eine nachhaltige und bewusste Ernährung hat einen großen Stellenwert für viele Menschen. Man möchte sich gesund ernähren, am besten mit ökologisch erzeugten, saisonalen Lebensmitteln aus der Region, ohne „künstliche“ Lebensmittelzusätze. Welche Stoffe stecken in unseren Nahrungsmitteln und in welchen Mengen?

2.2.1 Versuche und Material

V Lebensmittelanalyse mit Teststreifen



Teststreifen zur Kontrolle der Wasserqualität sind bei Aquarienbesitzern beliebt. Können damit auch Lebensmittel getestet werden?

V1 Ist „milder Orangensaft“ aus Orangen mit geringerem Anteil an Fruchtsäuren wirklich weniger sauer? Überprüfen Sie verschiedene Orangensäfte mithilfe von pH-Indikatorpapier.

V2 Pökelsalz (Natriumnitrit) wird Wurstwaren zugesetzt, um diese haltbarer zu machen und das „Vergrauen“ zu verhindern. Entwickeln Sie ein Experiment, um verschiedene Sorten Salami, Schinken oder deren vegane Alternativen mit Teststreifen auf den Nitrit-Gehalt zu überprüfen. Ihnen stehen dazu die entsprechenden Lebensmittel, Teststreifen, eine Feinwaage, destilliertes Wasser sowie Glasgeräte zur Verfügung.

Hinweis: Der gesetzliche Grenzwert liegt bei 5 mg Nitrit pro 100 g Wurst.

AUSWERTUNG

- Halten Sie Ihre Ergebnisse jeweils in Form einer Tabelle in Ihrem Protokoll fest. Treffen Sie vergleichende Aussagen zu den Proben.
- Beschreiben Sie ein Verfahren, um die Oxonium-Ionen-Konzentration in Fruchtsäften exakt zu bestimmen.
- Recherchieren Sie das Gefahrenpotenzial des Stoffes Natriumnitrit (vgl. S. 18 f.). Leiten Sie daraus die Folgen zu hoher Nitrit-Konzentrationen in Gewässern und Lebensmitteln ab.

ENTSORGUNG: A, R

V Vitamin-C-Gehalt in Zitrusfrüchten



Zitrusfrüchte an Bord verhinderten Vitamin-C-Mangel und gaben britischen Seeleuten den Namen „Limey“. Wie viel Vitamin C steckt in einer Zitrone?

Stellen Sie zunächst folgende Lösungen her:

- 1%ige wässrige Stärkelösung (heiß auflösen, dann abkühlen lassen)
- Iodlösung: Lösen Sie in einem 500-mL-Messkolben 5 g Kaliumiodid ($KI(s)$) und 0,36 g Kaliumiodat ($KIO_3(s)$) in 200 mL dest. Wasser. Fügen Sie 30 mL Schwefelsäurelösung ($c(H_2SO_4) = 3 \frac{mol}{L}$) hinzu und verdünnen Sie mit dest. Wasser auf ein Endvolumen von 500 mL.
- Vitamin-C-Standard: Lösen Sie in einem 250-mL-Messzylinder 0,25 g Vitamin C (Ascorbinsäure) in 100 mL dest. Wasser und verdünnen Sie bis zur Eichmarke auf 250 mL.

V3 Geben Sie 25 mL des Vitamin-C-Standards in einen 125-mL-Erlenmeyerkolben und fügen Sie 10 Tropfen der Stärkelösung zu. Titrieren Sie die Lösung mit Iodlösung als Maßlösung bis zu einem

20 Sekunden andauernden Farbumschlag (vgl. S. 12). Wiederholen Sie die Titration zweimal.

V4 Bestimmen Sie die Masse einer Zitrone. Pressen Sie deren Saft aus und filtern Sie diesen. Bestimmen Sie das Volumen. Titrieren Sie 25 mL des Saftes analog zu **V3**.

V5 Titrieren Sie 25 mL Fruchtsaft analog zu **V3**.

AUSWERTUNG

- Erklären Sie, weshalb eine Säure-Base-Titration hier keine aussagekräftigen Ergebnisse liefern würde.
- Bestimmen Sie rechnerisch den Vitamin-C-Gehalt Ihrer Zitrone.
- Vergleichen Sie Ihren errechneten Wert mit dem Literaturwert (50 – 55 mg / 100 g). Gehen Sie auf mögliche Mess- und Verfahrensfehler bei Ihrem Versuch ein.

ENTSORGUNG: A (Nach Zugabe von Natriumthiosulfatlösung)

V Dünnschichtchromatografie von Aminocarbonsäuren



Proteine sind aus Aminocarbonsäuren aufgebaut. Wie lassen sich diese identifizieren?

V6 Sie erhalten von der Lehrkraft die folgenden wässrige Aminocarbonsäurelösungen: Methionin-, Glycin-, Cystein- und Leucinlösung. Zudem erhalten Sie eine Lösung, die zwei der vier Aminocarbonsäuren enthält.

Identifizieren Sie die Aminocarbonsäuren im unbekannten Stoffgemisch mithilfe von Dünnschichtchromatografie (vgl. FM S. 37). Als Fließmittel dient ein Gemisch aus Aceton, Butan-1-ol, Wasser und Essigsäure (Eisessig) im Volumenverhältnis 7:7:4:2. Trocknen Sie das fertige Chromatogramm vorsichtig im Abzug mit einem heißen Föhn. Legen Sie die Kieselgelplatte nach dem Abkühlen auf eine Zellstoffunterlage und besprühen Sie die Platte mithilfe eines Zerstäubers mit Ninhydrinlösung. Legen Sie das Chromatogramm anschließend für ca. 10 – 15 Minuten in einen 70 °C warmen Trockenschrank.

AUSWERTUNG

- Zeichnen Sie das Dünnschichtchromatogramm ab und beschriften Sie es in Ihrem Protokoll.
- Der R_f -Wert ist charakteristisch für einen Stoff und wie folgt definiert:

$$R_f = \frac{\text{Laufstrecke Stoff}}{\text{Laufstrecke Fließmittel}}$$
 Ermitteln Sie die R_f -Werte der in **V6** mittels DC aufgetrennten Substanzen. Geben Sie begründet an, welche Aminocarbonsäuren das unbekannte Stoffgemisch enthält.
- Beschreiben Sie Ihre Vorgehensweise, um mithilfe der Dünnschichtchromatografie annähernd quantitative Aussagen zu den Aminocarbonsäurelösungen treffen zu können (vgl. Info).

ENTSORGUNG: G3, R

INFO

Eine qualitative Analyse zeigt, ob ein bestimmter Stoff in einem Stoffgemisch enthalten ist. Eine quantitative Analyse gibt Auskunft über die Konzentration des Stoffes.

2.2.2 Analysemethoden für Lebensmittelinhaltsstoffe

Nachweisreaktionen mit Teststreifen

Diabetes mellitus ist eine Stoffwechselerkrankung. Der Fachbegriff heißt übersetzt so viel wie „honigsüßer Durchfluss“. Er entstand wegen des honigsüß schmeckenden Urins Betroffener, der durch einen hohen Glucosegehalt im Blut zustande kommt. Zur Bestimmung des Gehalts an Glucose im Urin ist heutzutage keine Geschmackprobe mehr notwendig. Es reicht ein **Teststreifen** oder ein Gerät, das den Glucosegehalt im Blut messen kann.

Die sogenannten **Schnelltests** mit Teststreifen sind sehr einfach durchzuführen und basieren auf dem Prinzip „eintauchen – ablesen“. Die nachzuweisenden Substanzen reagieren mit Nachweisreagenzien auf den Teststreifen, was unterschiedliche Färbungen hervorruft (V1, V2). Die Auswertung erfolgt anschließend durch Vergleich der Färbung mit einer Farbskala (B1). Teststreifen werden vor allem in der Medizin und bei der Wasseranalyse von Gewässern, Trinkwasser oder Aquarien eingesetzt. So lassen sich z. B. die Nitrat- und Phosphatbelastung oder die Konzentration an Ionen in einer Flüssigkeit bestimmen.



B1 Urin-Teststreifen zeigen den Glucosegehalt, den pH-Wert sowie die Konzentration von Nitrit-Ionen, Proteinen und Blutkörperchen im Urin.

pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$c(\text{H}_3\text{O}^+)$ in mol/L	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}
$c(\text{OH}^-)$ in mol/L	10^{-14}	10^{-13}	10^{-12}	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
pOH	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

B2 Konzentration an Oxonium- und Hydroxid-Ionen bei entsprechendem pH-Wert und Färbung des Universalindikators.

Quantitative oder qualitative Analyse

Im Gegensatz zu einer **quantitativen Analyse**, z. B. einer Säure-Base-Titration zur exakten Bestimmung des Oxonium-Ionen-Gehaltes, kann mit Teststreifen nur die ungefähre Konzentration eines Stoffes in einer Lösung bestimmt werden. Daher spricht man von einer **halb-quantitativen Analyse**. Beide Analyseverfahren unterscheiden sich von der **qualitativen Analyse**, die nur zeigt, ob ein Inhaltsstoff überhaupt vorhanden ist. Bei der qualitativen Analyse geht es also um den reinen Nachweis von Stoffen.

pH-Wert und pOH-Wert

Ein bekanntes Beispiel für einen Schnelltest mit Teststreifen ist das pH-Indikatorpapier (V1). Dieses ermöglicht die Bestimmung des pH-Werts und somit der Konzentration an Oxonium- und Hydroxid-Ionen in einer Lösung. Der pH-Wert ist ein Maß für die Konzentration an Oxonium-Ionen $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ in einer wässrigen Lösung. Er ist definiert als der negative dekadische Logarithmus der Oxonium-Ionen-Konzentration:

$$\text{pH} = -\log_{10} \left[c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot \frac{\text{L}}{\text{mol}} \right]$$

$$\text{Beispiel: } c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \rightarrow \text{pH} = 3$$

Der **pOH-Wert** ist das Gegenstück zum pH-Wert und bezieht sich auf die Konzentration der Hydroxid-Ionen $c(\text{OH}^-)$. Er ist definiert als der negative dekadische Logarithmus der Hydroxid-Ionen-Konzentration:

$$\text{pOH} = -\log_{10} \left[c(\text{OH}^-) \cdot \frac{\text{L}}{\text{mol}} \right]$$

$$\text{Beispiel: } c(\text{OH}^-) = 10^{-11} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \rightarrow \text{pOH} = 11$$

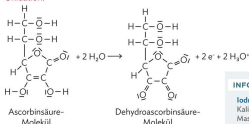
Die Summe aus pH-Wert und pOH-Wert ergibt immer 14. Ein Liter Wasser mit dem pH-Wert 7 enthält jeweils 10^{-7} mol Oxonium- und Hydroxid-Ionen (B2).

Iodometrie – eine Redox Titration

Vitamin C (Ascorbinsäure) wirkt im Körper als Antioxidans. Die Ascorbinsäure-Moleküle werden durch bestimmte Stoffe aus dem Stoffwechsel zu Dehydroascorbinsäure-Molekülen oxidiert. Dadurch wird die Oxidation körpereigener Teilchen verhindert und Zellschäden vorgebeugt. Die Bestimmung des Gehaltes an Vitamin C in Früchten ist aufgrund der Anwesenheit weiterer Fruchtsäuren

nicht mittels Säure-Base-Titration möglich. Bei einer **Redox Titration** macht man sich die Fähigkeit eines Teilchens zunutze, Elektronen aufzunehmen (Reduktion) oder abzugeben (Oxidation). Ascorbinsäure-Moleküle können durch Iod-Moleküle zu Dehydroascorbinsäure-Molekülen oxidiert werden. Iod-Moleküle werden dabei zu je zwei Iodid-Ionen reduziert.

Oxidation:



Bei der sogenannten **Iodometrie** tropft man Iodmaßlösung zu einer Ascorbinsäurelösung unbekannter Konzentration (V3 – 5). Um den Verlauf der Reaktion sichtbar zu machen, wird Stärkelösung hinzugefügt. Am Umschlagpunkt der Titration sind alle Ascorbinsäure-Moleküle oxidiert. Überschüssige Iod-Moleküle aus der zugegebenen Maßlösung reagieren dann zu Triiodid-Ionen (vgl. Info), die sich in die spiralförmig angeordneten Stärkek-Moleküle einlagern. Dies ruft auf der Stoffebene eine dunkelblaue Färbung hervor (B3).

Alternativ zur Nutzung einer Stärkelösung als Indikator kann die Titration auch computergestützt durchgeführt werden (vgl. EK S. 38).

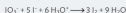


B3 Umschlagpunkt bei der Iodometrie

INFO

Iod kann schwer exakt abgewogen werden.

Iodmaßlösung wird daher häufig als Kaliumiodat und Kaliumiodid hergestellt (V3). Dazu wird die benötigte Masse Kaliumiodat zu einer Lösung mit einem Überschuss Kaliumiodid gegeben. Nach Ansäuern bildet sich Iod in der gewünschten Konzentration:



Iod ist in Wasser nahezu unlöslich. Ein Überschuss an Kaliumiodid in der Lösung sorgt dafür, die Löslichkeit von Iod-Molekülen durch Reaktion mit Iodid-Ionen zu Triiodid-Ionen zu verbessern:



Viele Stoffe lassen sich schnell und einfach mit Teststreifen nachweisen (qualitativ). Die meisten Teststreifen zeigen sogar eine ungefähre Konzentration an (halbquantitativ). Exakt lässt sich beispielsweise die Konzentration von Vitamin C mittels Redox Titration ermitteln (quantitativ).

AUFGABEN

- A1 a) Beschreiben Sie Ihr Vorgehen, um den Gehalt an Vitamin C in einem Bonbon halbquantitativ mit Teststreifen zu bestimmen. Gehen Sie dabei auch auf mögliche Mess- und Verfahrensfehler ein.
- b) Bewerten Sie den Werbeaufdruck in B4 unter Gesichtspunkten einer gesunden Ernährung.



B4 Bonbonverpackung

- A2 Geben Sie für folgende Lösungen jeweils den pH-Wert an:
Lösung A: pH 14,
Lösung B: pH 9,
Lösung C: pH 4.
- A3 Exkurs: Testet man eine rohe Kartoffel mit Iod-Kaliumiodidlösung, so erscheint im Gegensatz zu einer gekochten Kartoffel nur eine sehr geringe Blaufärbung. Erklären Sie diesen Zusammenhang auch auf zellulärer Ebene.

2.2.3 Dünnschichtchromatografie (DC)

Funktionsprinzip der Chromatografie

Die Chromatografie ist ein Verfahren zur Trennung von Stoffgemischen. Sie kann zur Isolierung von Reinstoffen oder zur Analyse unbekannter Stoffgemische eingesetzt werden. Es gibt zahlreichen Varianten, wie z. B. Papier-, Dünnschicht-, Gas- und Hochleistungsflüssigkeitschromatografie (HPLC) (vgl. Exkurs S. 39).

Die Stofftrennung bei der Chromatografie basiert darauf, dass sich verschiedene Teilchen aufgrund unterschiedlich starker Wechselwirkungen unterschiedlich stark auf zwei verschiedene Phasen verteilen. Die unbewegliche, **stationäre Phase** besitzt eine sehr große Oberfläche, mit der Teilchen in Wechselwirkung treten können. Bei der **Dünnschichtchromatografie (DC)** nutzt man als stationäre Phase Platten, die mit Kieselgel, Aluminiumoxid oder Cellulose beschichtet und somit hydrophil sind.

Bei der **mobilen Phase** handelt es sich um eine mit der stationären Phase nicht mischbare Flüssigkeit, das **Fließmittel**. Häufig verwendet man dafür ein Gemisch verschiedener Lösemittel. Bei einer DC fließt das Fließmittel aufgrund der Kapillarkraft von unten nach oben.

Adsorption – eine Kenneigenschaft

Das Anlagern bzw. Anhaften eines Stoffes an eine Oberfläche nennt man **Adsorption**. Verschiedene Stoffe eines Stoffgemisches adsorbieren unterschiedlich stark an ein Trägermaterial. Ursache ist die unterschiedliche Polarität der Moleküle. Auch die Löslichkeit der Stoffe im Fließmittel ist von der Polarität der jeweiligen Moleküle abhängig. Die Komponenten eines Stoffgemisches verteilen sich somit entsprechend der Polarität ihrer Moleküle unterschiedlich stark in beiden Phasen. Die vom

Fließmittel mitgeführten Teilchen werden an der stationären Phase wiederholt adsorbiert, wieder desorbiert und durch Lösemittel-Moleküle ersetzt (**B5**).

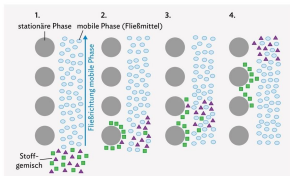
Stoffe mit starker Adsorption an die stationäre Phase benötigen mehr Zeit, um von der mobilen Phase „nach oben“ transportiert zu werden, als Stoffe mit schwacher Adsorption. Die Zeit, in der ein Stoff eine bestimmte Strecke auf der DC-Platte zurücklegt, nennt man **Retentionszeit**. Aufgrund der unterschiedlichen Retentionszeiten ergeben sich unterschiedliche Laufstrecken der Stoffe. Bei konstanter mobiler und stationärer Phase ist die Laufstrecke eines Stoffes immer dieselbe und somit charakteristisch. Sie lässt sich über den **Retentionsfaktor** bzw. **R_f-Wert** angeben:

$$R_f = \frac{\text{Laufstrecke Stoff}}{\text{Laufstrecke Fließmittel}}$$

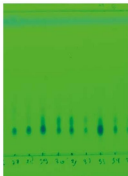
Zur Identifikation eines Stoffes x in einem Stoffgemisch trägt man neben dem Stoffgemisch zum Vergleich auch den vermuteten Stoff x als Reinstoff auf die DC-Platte auf (vgl. FM S. 37). Mithilfe dieser sogenannten **Co-Chromatografie** lässt sich der Stoff durch Vergleich der Laufstrecken identifizieren.

Färbung von Chromatogrammen

Farblose Stoffe müssen auf dem Trägermaterial sichtbar gemacht werden. In die Beschichtung der DC-Platten ist meist ein fluoreszierender Farbstoff eingearbeitet. Substanzflecken liegen darüber und führen bei Bestrahlung mit UV-Licht häufig zu einer reduzierten Fluoreszenz (**B6**). Alternativ können Substanzflecken selbst fluoreszieren oder mit Sprühreagenzien in Form einer Nachweisreaktion sichtbar gemacht werden (**V6**).



B5 Funktionsprinzip der Dünnschichtchromatografie



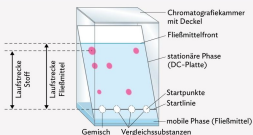
B6 Chromatogramm unter UV-Licht

FM Eine Dünnschichtchromatografie durchführen

Mithilfe einer Dünnschichtchromatografie können Stoffgemische getrennt und analysiert werden.

VORGEHEN

1. Befüllen Sie die **Chromatografiekammer** ca. 0,5 cm hoch mit Fließmittel und verschließen Sie diese (**B7**).
2. Zeichnen Sie auf einer **DC-Platte** ca. 1,5 cm vom unteren Rand entfernt vorsichtig mit Bleistift die **Startlinie**. Markieren Sie die Startpunkte der Substanz und der **Vergleichssubstanzen** (Abstand 1 – 1,5 cm).
3. Tragen Sie das Stoffgemisch und bei einer Co-Chromatografie die Vergleichssubstanzen mit je einer Kapillare punktförmig nebeneinander auf ($\varnothing$ 2 mm). Notieren Sie die Reihenfolge.
4. Stellen Sie die DC-Platte in die Chromatografiekammer. Achten Sie darauf, dass die auf der Startlinie aufgetragenen Substanzen nicht in das Fließmittel eintauchen. Verschließen Sie die Kammer.
5. Entnehmen Sie die DC-Platte, sobald die **Fließmittelfront** 1,5 cm unterhalb der oberen Kante angekommen ist. Markieren Sie direkt nach der Entnahme die Höhe der Fließmittelfront mit einem Bleistift.
6. Vergleichen Sie die **Laufstrecken** der Vergleichssubstanzen mit den Laufstrecken der Gemischkomponenten auf der DC-Platte



B7 Schematische Darstellung einer Dünnschichtchromatografie

(= **Chromatogramm**), um die Komponenten des Gemischs zu identifizieren. Anhand der Größe der Substanzflecken können auch ungefähre Aussagen über die im Gemisch enthaltenen Mengenverhältnisse gemacht werden.

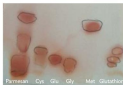
7. Bestimmen Sie ggfs. zusätzlich die **R_F-Werte**. Dividieren Sie dazu die Laufstrecke eines Stoffes durch die Laufstrecke des Fließmittels.

Die **Dünnschichtchromatografie (DC)** ist ein analytisches Trennverfahren für Stoffgemische, das sowohl qualitative als auch (halb)quantitative Aussagen über die Zusammensetzung von Stoffgemischen ermöglicht. Der R_F-Wert ist charakteristisch für einen Stoff.

AUFGABEN

- A1 Schokokollins sind mit wasserlöslichen Lebensmittelfarbstoffen überzogen. Beschreiben Sie Ihr Vorgehen, um zu überprüfen, welche Farbstoffe auf braunen/violetten Schokokollins sind.
- A2 Proteine sind aus verschiedenen Aminosäure-Bausteinen aufgebaut, z. B. Cystein (Cys), Glutaminsäure (Glu), Glycin (Gly) und Methionin (Met). Proteine können durch saure Hydrolyse in ihre Bausteine gespalten werden. Werten Sie das Chromatogramm in B8 aus. Machen Sie auch quantitative Aussagen über die Zusammensetzung von Parmesan und dem Protein Glutathion.

- A3 Ähnliches löst sich in Ähnlichem: Erklären Sie am Beispiel der Wahl eines Fließmittels, dass dieser Merksatz auch für die Trennkennung einer Dünnschichtchromatografie von großer Bedeutung ist.



B8 Chromatogramm von Parmesan und Glutathion nach Hydrolyse (Fließmittel Butan-1-ol: Essigsäure: Wasser im Volumenverhältnis 4:1:1; Stoffe mit Ninhydrinlösung gefärbt)

2.2.4 Messwerte einer Titration digital erfassen

Die digitale Messwerterfassung ermöglicht eine schnellere und präzisere Aufnahme vieler Messwerte, als dies von Hand möglich ist. Bei einer Redoxtitration kann z. B. die Änderung der Spannung in Abhängigkeit vom zugegebenen Volumen der Maßlösung ermittelt werden.

VORGEHEN

1. Informieren Sie sich über die Funktionsweise Ihres Messwerterfassungssystems: Bei einigen Systemen wird ein Sensor über Bluetooth mit dem Smartphone oder Tablet verbunden (B1), andere werden über USB an einen Computer angeschlossen.
2. Verbinden Sie den entsprechenden Messsensor mit der dazugehörigen Software. Bei einer Redoxtitration wird eine redoxensitive Elektrode, bei einer pH-Titration eine pH-Sonde und bei einer konduktometrischen Titration ein Leitfähigkeitsprüfer benötigt.
3. Verfügt Ihr System über einen Tropfenzähler, so verbinden Sie diesen ebenfalls mit der Software.
4. Stellen Sie in der Software die Parameter ein, die Sie messen wollen, bzw. wählen Sie den zu verwendenden Sensor aus (B2).
Hinweis: Ist ein Tropfenzähler vorhanden, muss das Volumen eines Tropfens bekannt sein. Dazu können Sie zählen lassen, wie viele Tropfen 1 mL ergeben. Ist kein Tropfenzähler angeschlossen, so messen einige Programme nur die abgelaufene Zeit. Um später anhand der Zeit das zugegebene Volumen berechnen zu können, müssen Sie bestimmen, wie viele Milliliter Lösung innerhalb einer bestimmten Zeit aus der Burette tropfen.
5. Führen Sie die Titration mithilfe der Messwerterfassung durch. Beachten Sie, dass Sie – sofern kein Tropfenzähler vorhanden ist – die Zutropfgeschwindigkeit nicht mehr ändern.
6. Werten Sie Ihre Ergebnisse mithilfe der Messwerterfassungssoftware aus (B3).



B1 Eine pH-Sonde ist über Bluetooth mit der Messwerterfassungssoftware verbunden.



B2 Auswahl des Messensors in der Messwerterfassungsssoftware



B3 Kurvenverlauf einer Säure-Base-Titration

AUFGABEN

- A1** Nennen Sie Vor- und Nachteile der digitalen Messwerterfassung bei einer Titration. Gehen Sie dabei auch auf die Minimierung von Messfehlern ein.
- A2** Beurteilen Sie die Einsatzmöglichkeiten einer digitalen Messwerterfassung und nennen Sie mögliche Fehlerquellen bei der Durchführung.
- A3** Beschreiben und interpretieren Sie den Kurvenverlauf der Titrationskurve in B3.

2.2.5 Hochleistungsflüssigkeitschromatografie (HPLC)

Doping stellt im Sport nach wie vor ein großes Problem dar. Nicht nur, dass der Wettbewerb der Sportlerinnen und Sportler durch diese unlauteren Methoden verzerrt wird. Die Einnahme verbotener Substanzen birgt auch ein enormes gesundheitliches Risiko. Zur Analyse der Blutplasma- oder Urinproben setzt man modernste Methoden der Chromatografie ein.

Ein Hochleistungsflüssigkeitschromatograf (HPLC: High performance liquid chromatography) nutzt das gleiche Funktionsprinzip wie auch die Dünnschichtchromatografie. Eine stationäre Phase mit großer Oberfläche wird in einer Säule von einer mobilen Phase unter hohem Druck (bis zu 400 bar) durchströmt. Die mobile Phase besteht dabei aus einem Stoffgemisch verschiedener Lösemittel, wobei sich die Zusammensetzung meist über die Laufzeit verändert.

Zu Beginn der Trennung, der Elution (= Auswaschung), werden Lösemittel (Eluenten) verwendet, die aus unpolaren Molekülen aufgebaut sind. Mit voranschreitender Elution werden Eluenten mit zunehmend stärker polaren Molekülen eingesetzt. Je nach verwendeter stationärer Phase werden Lösemittel anhand ihrer Elutionskraft in einer elutropen Reihe angeordnet (B2). Polare Substanzen benötigen somit länger, um durch die Säule transportiert zu werden.

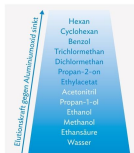
Ein Detektor am Ende der Chromatographiesäule misst bestimmte physikalische Eigenschaften des Eluats. Anhand der Absorption von Licht, gemessen mit UV-/VIS- oder Fluoreszenz-Detektoren, oder anhand der Wärmeleitfähigkeit wird ein elektrisches Signal erzeugt und über einen Computer ausgegeben. Auf diese Weise kann ermittelt werden, nach welcher Zeit der zu untersuchende Stoff die Säule verlassen hat.



B1 Präparative HPLC-Anlage mit Autosampler

Man nennt diese Zeit die Retentionszeit. Anhand von Vergleichssubstanzen, sogenannten Standards, lassen sich Stoffe eindeutig identifizieren.

Mit einem automatischen Probenwechsler (= Autosampler) können nacheinander zahlreiche Proben automatisiert in das System injiziert und analysiert werden. Das Verfahren ermöglicht in der präparativen Chemie die Aufreinigung von Proteinen oder gar die Trennung von Enantiomeren-Gemischen (vgl. S. 44). Die einzelnen Eluat-Fractionen können nach der Detektion aufgefangen werden. Durch Abdampfen des Lösemittels erhält man so die jeweiligen Reinstoffe.

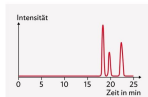


B2 Elutrope Reihe gegen Aluminiumoxid

Man unterscheidet Normalphasen- und Reversed-Phase-Chromatografie. Bei der Normalphasenchromatografie wird eine stationäre Phase mit stark polaren Molekülen von einer mobilen Phase mit eher unpolaren Molekülen durchlaufen. Bei der Reversed-Phase-Chromatografie ist es genau umgekehrt.

AUFGABEN

- A1 Beschreiben Sie B3 und stellen Sie Hypothesen zu den Polaritäten der untersuchten Moleküle auf.
- A2 Recherchieren Sie weitere Anwendungsgebiete der HPLC.
- A3 Recherchieren Sie den Aufbau sowie die Funktionsweise eines Gaschromatografen (GC). Vergleichen Sie GC, HPLC und GC in einer Tabelle.



B3 HPLC-Chromatogramm



2.3 Optische Aktivität und chirale Moleküle

Polarisierende Sonnenbrillen und Joghurt mit rechtsdrehender Milchsäure werden als Produkte mit besonderen Eigenschaften beworben. Doch was steckt physikalisch bzw. chemisch hinter diesen Produkten?

2.3.1 Versuche und Material

LV Das Polarimeter

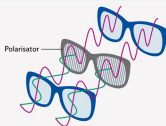


Das Attribut „rechtsdrehend“ bezieht sich auf die besondere Eigenschaft der Milchsäure, eine optisch aktive Substanz zu sein. Doch was wird von der Milchsäure nach rechts gedreht und wie kann man diese Eigenschaft untersuchen?

LV1 Ein Polarimeter wird in einem abgedunkelten Raum aufgebaut. Die Anzeige des Analysators wird auf 0° gestellt und der Polarisorator so justiert, dass auf der Projektionsfläche kein Licht zu sehen ist. Nun wird eine frisch angesetzte D- oder L-Milchsäurelösung ($w = 20\%$) in die Messzelle zwischen dem Polarisorator und dem Analysator gefüllt. Der Drehwinkel wird durch Drehung des Analysators in beide Richtungen bis zur maximalen Auslöschung bestimmt. Der kleinere gemessene Winkel beider Varianten wird als Drehwinkel notiert.

AUSWERTUNG

- Recherchieren und definieren Sie den Begriff linear polarisiertes Licht.
- Erklären Sie anhand der Abbildung (B1) die Funktionsweise eines Polarisors.
- Untersuchen Sie die polarisierende Wirkung



B1 Polarisierendes Brillenglas

zweier Sonnenbrillengläser. Sie können als Lichtquelle z. B. die Taschenlampe Ihres Smartphones verwenden.

- Fertigen Sie eine Versuchsskizze zu LV1 an und formulieren Sie das Prinzip, das dem Versuch zugrunde liegt. Gehen Sie auch auf mögliche Mess- und Verfahrensfehler bei der Versuchsdurchführung ein.

ENTSORGUNG: A

M Optische Aktivität und Molekülbau

Nur wenige Stoffe sind optisch aktiv. Was bewirkt diese Stoffeigenschaft auf Teilchenebene?

M2 Bauen Sie mit dem Molekülbaukasten alle Isomere des 3-Chlor-2-Hydroxypropanal-Moleküls sowie des 3-Chlorpropanal-Moleküls. Zeichnen Sie alle Verbindungen als Strukturformel in Ihr Heft.

AUSWERTUNG

- Betrachten Sie die gebauten Modelle u. a. mithilfe eines Spiegels. Vergleichen Sie die Modelle sowie die Spiegelbilder der Modelle.
- Überprüfen Sie anhand der Modelle, ob sich die verschiedenen Isomere des 3-Chlor-2-Hydroxypropanals zur Deckung bringen lassen.
- Charakterisieren Sie den entscheidenden Unterschied zwischen den zentralen Kohlen-

stoff-Atomen der 3-Chlor-2-Hydroxypropanal-Isomere und dem zentralen Kohlenstoff-Atom des 3-Chlorpropanal-Moleküls.

- Mit LV1 wurde bewiesen, dass es sich bei Milchsäure um eine optisch aktive Substanz handelt (Molekülmodell in B2). Entscheiden Sie begründet, ob es sich bei 3-Chlor-2-Hydroxypropanal und 3-Chlorpropanal um optisch aktive Substanzen handelt.



B2 Kugel-Stab-Modell des Milchsäure-Moleküls

M Thalidomid – der Contergan-Skandal

M3 Das Medikament Contergan wurde in Deutschland in den späten 50er Jahren als Schlaf- und Beruhigungsmittel verabreicht. Frauen nahmen es während der Schwangerschaft, da es gegen Übelkeit helfen sollte und als ungefährlich galt. In den nachfolgenden Jahren traten bei Neugeborenen immer häufiger schwere Fehlbildungen auf, die letztlich auf Contergan zurückgeführt wurden (**B3**).



B3 Kind mit Fehlbildungen durch Contergan

Contergan enthält den Wirkstoff Thalidomid. Dabei handelt es sich um ein optisch aktives Arzneistoffgemisch. Es enthält zwei Stoffe, deren Moleküle sich wie Bild und Spiegelbild verhalten (= Enantiomere). Das eine Enantiomer ist therapeutisch wirksam, das andere fruchtschädigend. Eine Behandlung mit dem reinen, ungefährlichen Enantiomer ist nicht möglich, da der Körper die beiden Enantiomere ineinander umwandeln kann.

AUSWERTUNG

- Contergan wirkt auch gegen verschiedene Krebsarten und Lepra. Es wurde nach dem Skandal nicht gänzlich verboten, sondern nur rezeptpflichtig. Bewerten Sie diese Entscheidung. Recherchieren Sie hierzu auch das Gefahrenpotenzial von Thalidomid (vgl. S. 18 f.).
- Stellen Sie eine Vermutung auf, warum die Enantiomere chiraler Arzneimittel unterschiedliche Wirkung auf den Körper haben können.
- Exkurs:** 1976 wurde eine Neufassung des Deutschen Arzneimittelgesetzes (AMG) verabschiedet. Recherchieren Sie zwei Kerninhalte des AMG, die einen Medikamenten-Skandal vermeiden sollen.

2.3.2 Linear polarisiertes Licht

Linear polarisiertes Licht

Neben Farbe und metallischem Glanz können Stoffe auch eine weitere optische Kenneigenschaft aufweisen, die **optische Aktivität**. Eine optisch aktive Substanz ist in der Lage, die Schwingungsebene **linear polarisierten Lichts** zu drehen.

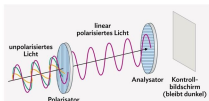
Um das zu verstehen, muss man sich zunächst anschauen, was linear polarisiertes Licht ist. Ein gewöhnlicher Lichtstrahl setzt sich aus vielen elektromagnetischen Wellen zusammen. Die Lichtwellen schwingen in verschiedenen Raumrichtungen bzw. **Schwingungsebenen** (B1). Ein Polarisator ist eine Art Filter, der nur Lichtwellen mit einer bestimmten Schwingungsebene durchlässt. Das Licht hinter dem Polarisator ist linear polarisiert.



B1 Erzeugung linear polarisierten Lichts

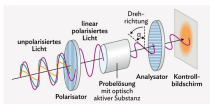
Das Polarimeter

Um zu überprüfen, ob ein Stoff optisch aktiv ist, also linear polarisiertes Licht drehen kann, benötigt man ein **Polarimeter**. Dieses Gerät enthält einen Polarisator zur Erzeugung linear polarisierten Lichts, sowie einen weiteren, drehbaren Filter, den Analysator (LV1). Zu Beginn der Untersuchung steht der Analysator senkrecht zum Polarisator, der Kontrollschirm ist dunkel, da das polarisierte Licht nicht durch den Analysator gelangen kann (B2).



B2 Ausrichtung von Polarisator und Analysator

Zwischen dem Polarisator und dem Analysator wird nun die Probelösung eingebracht. Handelt es sich um eine optisch aktive Substanz, dreht sich die Schwingungsebene des linear polarisierten Lichts. Nun ist ein heller Fleck auf dem Kontrollschirm zu sehen. Der Analysator wird gedreht, bis der Lichtfleck verschwindet. Dabei wählt man die Drehrichtung, in der dies bei kleinerem Drehwinkel geschieht. Auf dem Analysator kann nun der **Drehwinkel α** des untersuchten Stoffes abgelesen werden (B3).



B3 Funktionsweise eines Polarimeters

Spezifischer Drehwinkel und Biot-Gesetz

Bei der Bestimmung des Drehwinkels eines Stoffes ist zu beachten, dass das Messergebnis von folgenden Faktoren abhängt: Massenkonzentration des gelösten Stoffes, Wellenlänge des Lichts, Temperatur der Probe und Länge der Messzelle.

Um Substanzen dennoch miteinander vergleichen zu können, wurde als Stoffkonstante bei einer bestimmten Temperatur ϑ und einer bestimmten Lichtwellenlänge λ der **spezifische Drehwinkel $[\alpha]$** eingeführt, der sich durch das **Biot-Gesetz** bestimmen lässt:

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{\beta \cdot l}$$

α = gemessener Drehwinkel
 ϑ = Temperatur
 λ = Wellenlänge
 β = Massenkonzentration des gelösten Stoffes
 l = Länge des Probenrohrs

Beispiel: Der Drehwinkel α einer Lösung im Probenrohr der Länge 1 dm beträgt $+67^\circ$. Die Konzentration des gelösten Stoffes ist $1,25 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$. Berechnen Sie den spezifischen Drehwinkel $[\alpha]_{D}^{20}$ des Stoffes.

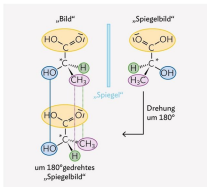
$$[\alpha]_{D}^{20} = \frac{\alpha}{\beta \cdot l} = \frac{+67^\circ}{1,25 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \cdot 1 \text{ dm}} = +53,6^\circ \frac{\text{mL}}{\text{g} \cdot \text{dm}}$$

Mit dem Biot-Gesetz lässt sich bei gegebenem spezifischen Drehwinkel $[\alpha]$ auch die Massenkonzentration der optisch aktiven Substanz berechnen.

Chirale Moleküle

Die optische Aktivität eines Stoffes hängt vom Bau seiner Moleküle ab. Milchsäure-Moleküle kommen in zwei unterschiedlichen räumlichen Anordnungen vor, die isomer zueinander sind. Sie haben dieselbe Molekülformel, aber eine unterschiedliche Anordnung der Atome im Molekül.

Die beiden Moleküle der Milchsäure verhalten sich wie Bild und Spiegelbild zueinander (B5). Man bezeichnet sie als **chirale** Moleküle, von griech. *cheir*: Hand. Die Hände eines Menschen verhalten sich ebenfalls wie Bild und Spiegelbild und können, wie die Milchsäure-Moleküle, nicht durch Drehen oder Verschieben im Raum zur Deckung gebracht werden (B6, M2).



B5 Chirale Milchsäure-Moleküle (2-Hydroxypropansäure-Moleküle): „Bild“ und „Spiegelbild“ lassen sich auch durch Drehung nicht zur Deckung bringen.



B6 Chiralität bei Händen: Das Spiegelbild der linken Hand gleicht der rechten Hand.

Bei Molekülen kann **Chiralität** dann vorliegen, wenn an ein Kohlenstoff-Atom vier unterschiedliche Substituenten („Reste“) gebunden sind. Ein solches Kohlenstoff-Atom wird als **asymmetrisches Kohlenstoff-Atom** oder **Chiralitätszentrum** bezeichnet und in Formeln mit einem Sternchen (*) markiert.

Drehrichtung

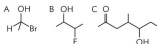
Stoffe sind optisch aktiv, wenn chirale Moleküle vorliegen. Zwei chirale Isomere sind mit einem Polarimeter unterscheidbar. Sie drehen die Schwingungsebene des linear polarisierten Lichts um den gleichen Betrag, jedoch in unterschiedliche Richtungen. Das (+)-Isomer dreht die Schwingungsebene mit Blick in Richtung Lichtquelle im Uhrzeigersinn („rechtsdrehend“), das (-)-Isomer gegen den Uhrzeigersinn („linksdrehend“). Mischt man beide Isomere in gleicher Konzentration, so ist im Polarimeter keine Drehung zu beobachten.

Moleküle optisch aktiver Stoffe sind chirale. Sie drehen die Schwingungsebene des linear polarisierten Lichts. Die Bestimmung des Drehwinkels erfolgt mithilfe eines Polarimeters.

AUFGABEN

- A1** a) Zwei chirale Moleküle unterscheiden sich lediglich in einer physikalischen Eigenschaft, welche sich mithilfe eines Polarimeters bestimmen lässt. Beschreiben Sie diese physikalische Kennzeichnung anhand eines Versuchsaufbaus.
b) Begründen Sie, warum immer ein identisches Gefäß für die Probenlösung im Polarimeter verwendet werden sollte.
- A2** Im Praktikum untersuchen Sie im Polarimeter eine Maltoselösung unbekannter Konzentration. Der gemessene Drehwinkel beträgt $+101^\circ$. Der spezifische Drehwinkel $[\alpha]_{D=20}^{20}$ (Maltose) liegt bei $+130^\circ \frac{\text{g}}{\text{g} \cdot \text{dm}}$, und die Probenrohrlänge der Apparatur misst 1 dm. Berechnen Sie die Massenkonzentration der Maltose in dieser Lösung.

- A3** a) Definieren Sie anhand eines selbst gewählten Beispiels den Begriff Chiralitätszentrum.
b) Entscheiden Sie begründet, ob die angegebenen Moleküle chiral sind, und kennzeichnen Sie Chiralitätszentren mit einem Sternchen *.



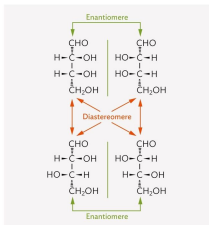
- A4** Rene behauptet: „Alle Isomere von 2,4-Dimethylpentandisäure sind chiral.“ Beurteilen Sie diese Aussage anhand von Strukturformeln.

2.3.3 Spiegelbildisomerie und FISCHER-Projektion

Stereoisomerie

Weisen zwei oder mehr Moleküle die gleiche Molekülformel und die gleiche Verknüpfung der Atome auf, unterscheiden sich jedoch in der räumlichen Anordnung der Atome, handelt es sich um **Stereoisomere**. Hat ein Molekül genau ein Chiralitätszentrum, so existieren immer zwei Stereoisomere, die sich wie Bild und Spiegelbild zueinander verhalten. Man spricht von Spiegelbildisomeren bzw. **Enantiomeren**.

Die Anzahl möglicher Stereoisomere ist abhängig von der Anzahl der Chiralitätszentren im Molekül. Es existieren immer 2^n Stereoisomere, wobei n die Anzahl der Chiralitätszentren ist. Beispielsweise hat ein 2,3,4-Trihydroxybutanal-Molekül zwei Chiralitätszentren, weshalb $2^2 = 4$ Stereoisomere gebildet werden können (B7). Von diesen vier Stereoisomeren verhalten sich zwei Paare jeweils wie Bild und Spiegelbild. Es handelt sich um **Enantiomere**. Stereoisomere, die sich nicht wie Bild und Spiegelbild verhalten, bezeichnet man als **Diastereomere**.

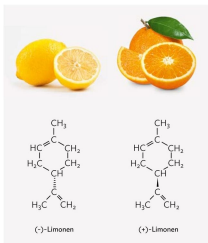


B7 Stereoisomere des 2,3,4-Trihydroxybutanals (oben: D- und L-Erythrose, unten: L- und D-Threose)

Eigenschaften der Stoffe von Enantiomeren

Der Molekülbau von Enantiomeren ist nahezu identisch, weshalb sich die Stoffe der Enantiomere kaum in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften unterscheiden. Sie lassen sich jedoch anhand der optischen Aktivität eindeutig zuordnen, da sie die Schwingungsebene linear polarisierten Lichtes in unterschiedliche Richtungen drehen.

Die Stoffe mancher Enantiomerenpaare weisen zudem Unterschiede in Bezug auf ihre biologische Wirksamkeit auf. So riecht (-)-Limonen nach Zitronen und (+)-Limonen nach Orangen (B8). Noch unterschiedlicher ist es bei den Carvon-Enantiomeren: Während (-)-Carvon nach Pfefferminze riecht, riecht (+)-Carvon nach Kümmel.



B8 Enantiomere des Limonens

Außerdem kann es vorkommen, dass nur eines der Enantiomere eine medizinische Wirksamkeit aufweist. Im schlimmsten Fall kann das andere Enantiomer sogar schädlich für den Körper sein, wie bei dem Wirkstoff Thalidomid (M3).

Die FISCHER-Projektion

Mithilfe der (+)- und (-)-Nomenklatur lassen sich zwei enantiomere Stoffe kennzeichnen. Jedoch lässt sich mithilfe dieser Symbole lediglich auf die optische Aktivität der Verbindungen schließen, nicht aber auf den Bau der Moleküle.

Um Enantiomere anhand des Molekülbau zu unterscheiden, verwendet man eine Darstellungsweise, die der Chemiker EMIL FISCHER entwickelte. Mit der **FISCHER-Projektion** können räumlich angeordnete Substituenten in einer Ebene abgebildet werden. Dies ermöglicht eine leichte Schreibweise und eine aussagekräftige Nomenklatur.

Für die Erstellung der korrekten FISCHER-Projektion müssen einige Regeln beachtet werden (B9, vgl. FM S. 46):

1. Das Molekül wird vertikal entlang der längsten Kette an Kohlenstoff-Atomen ausgerichtet.
2. Das Kohlenstoff-Atom mit der höchsten Oxidationszahl steht oben.
3. Bindungen, die nach hinten zeigen, werden als senkrechte Linien gezeichnet. Bindungen, die nach vorne zeigen, werden zu waagrechten Linien gezeichnet.



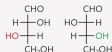
B9 Von der Keilstrichformel zur FISCHER-Projektion am Beispiel des Milchsäure-Moleküls

D- und L-Konfiguration

Die Moleküle enantiomerer Stoffe ordnet man entweder dem D- oder dem L-Typ zu. Dabei ist die Zuordnung des D- bzw. L-Typs unabhängig von der Drehrichtung des Stoffes (+) bzw. (-) im Polarimeter.

Die D- bzw. L-Konfiguration eines chiralen Moleküls lässt sich aus der FISCHER-Projektion ablesen. Steht die Hydroxy-Gruppe am asymmetrischen Kohlenstoff-Atom rechts, handelt es sich um die **D-Form** (lat. *dexter*: rechts), steht sie links, handelt es sich um die **L-Form** (lat. *laevus*: links).

Bei mehreren asymmetrischen Kohlenstoff-Atomen muss auch in der FISCHER-Projektion beachtet werden, dass sich Enantiomere immer genau wie Bild und Spiegelbild verhalten. Steht eine OH-Gruppe in dem einen Enantiomer rechts, steht sie im anderen Enantiomer links und umgekehrt. Entscheidend für die Benennung nach dem D- bzw. L-Typ ist immer das unterste Chiralitätszentrum (**B10**).



B10 FISCHER-Projektion des L- und des D-2,3,4-Trihydroxybutanal-Moleküls (bzw. des L- und des D-Threose-Moleküls)

Verhalten sich zwei Stereoisomere wie Bild und Spiegelbild, so bezeichnet man sie als Enantiomere, andernfalls als Diastereomere.

Bei der FISCHER-Projektion handelt es sich um eine zweidimensionale Darstellung, dreidimensionaler, chiraler Moleküle.

AUFGABEN

- A1** Definieren Sie den Begriff Stereoisomerie und stellen Sie die E/Z-Isomerie sowie die Spiegelbild-isomerie tabellarisch inklusive eines Beispiels gegenüber.
- A2** Ordnen Sie die (+)/(-)-Nomenklatur und die D/L-Nomenklatur jeweils der Stoffebene oder der Teilchenebene zu.
- A3** Bei 2-Amino-3-Hydroxybutansäure handelt es sich um eine essenzielle Aminocarbonsäure.
- a) Markieren Sie alle Chiralitätszentren des nebenstehenden Moleküls und geben Sie die Oxidationszahlen aller Kohlenstoff-Atome an.



- b) Leiten Sie ab, wie viele Stereoisomere für dieses Molekül existieren.
- c) Übertragen Sie das Molekül in die FISCHER-Projektion und ordnen Sie begründet den D- oder L-Typ zu.

- A4** Die Stereoisomere des Weinsäure-Moleküls (2,3-Dihydroxybutandisäure-Molekül), kommen natürlich vor allem in Weintrauben vor und sind dementsprechend auch im Wein zu finden. Zeichnen Sie die Moleküle aller Stereoisomere in der FISCHER-Projektion.

2.3.4 Moleküle in der FISCHER-Projektion darstellen

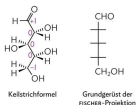
Die Moleküle von Monosacchariden sowie Aminocarbonsäuren werden häufig in der FISCHER-Projektion dargestellt. Mit dieser Darstellung lässt sich die dreidimensionale Struktur eines chiralen Moleküls eindeutig zweidimensional abbilden. Wie gelingt es, die Keilstrichformel in die FISCHER-Projektion zu überführen und wie lassen sich Enantiomere dem D- bzw. L-Typ zuordnen?

Tipp: Bauen Sie das Molekül mit einem Molekülbaukasten oder einem digitalen Programm nach (vgl. EK S. 47). So können Sie das Molekülmodell im Raum drehen und von allen Seiten betrachten.

VORGEHEN

Überführen Sie die Keilstrichformel des Ribose-Moleküls in die FISCHER-Projektion und bestimmen Sie die D- bzw. L-Form des Moleküls.

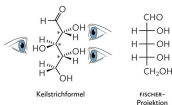
1. Zeichnen Sie das Molekül so, dass die **längste Kohlenstoff-Atomkette** vertikal (senkrecht) ausgerichtet ist und das Kohlenstoff-Atom mit der **höchsten Oxidationszahl oben** steht.



Hinweis: In der FISCHER-Projektion wird nur das obere und das untere Kohlenstoff-Atom ausgeschrieben.

2. Betrachten Sie nun **jedes Chiralitätszentrum einzeln**: Blicken Sie so auf das asymmetrische Kohlenstoff-Atom, dass die Bindungen zu den benachbarten Kohlenstoff-Atomen nach hinten

zeigen. Notieren Sie Atome, die aus dieser Perspektive nach rechts stehen auch in der FISCHER-Projektion rechts und Atome, die nach links stehen entsprechend links.



Alternative: Betrachten Sie die Keilstrichformel auf dem Papier ohne Berücksichtigung des räumlichen Baus des Moleküls. In der FISCHER-Projektionsformel bleiben dann Atome bzw. Atomgruppen mit gestrichelten Keilen stehen. Atome bzw. Atomgruppen mit ausgefüllten Keilen wechseln die Seite.

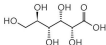
3. Optional können Sie aus der FISCHER-Projektion die D- bzw. L-Form des Moleküls ablesen: Steht bei einem Kohlenhydrat-Molekül die Hydroxy-Gruppe am untersten asymmetrischen Kohlenstoff-Atom rechts, handelt es sich um die D-Form, steht sie links, handelt es sich um die L-Form.



In der FISCHER-Projektion werden alle Bindungen, die nach vorne zeigen, als waagerechte Striche und alle Bindungen, die nach hinten zeigen als senkrechte Striche dargestellt.

AUFGABEN

- A1** Die nebenstehende Formel zeigt ein Stereoisomer des Gluconsäure-Moleküls. Geben Sie begründet an, ob es sich um das D- oder L-Gluconsäure-Molekül handelt.
- A2** Zeichnen Sie ein Molekül der L-Ribose in FISCHER-Projektion und geben Sie die entsprechende Keilstrichformel an. **Hinweis:** Die Moleküle der



D- und L-Form eines Stoffes verhalten sich immer wie Bild und Spiegelbild zueinander.

- A3** Kim behauptet: „Aufgrund der freien Drehbarkeit der C-C-Einfachbindungen kann das D-Ribose-Molekül problemlos in die L-Form überführt werden. Bei D- und L-Ribose handelt es sich folglich um identische Moleküle.“ Nehmen Sie zu dieser Aussage begründet Stellung und belegen Sie Ihre Ausführung mithilfe eines Molekülbaukastens.

2.3.5 Chirale Moleküle dreidimensional modellieren

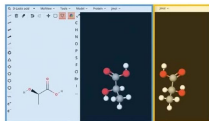
Um sich Moleküle räumlich vorstellen und vor dem geistigen Auge drehen zu können, braucht es etwas Übung. Das räumliche Vorstellungsvermögen kann durch das Arbeiten mit dem Molekülbaukasten und digitaler Modellierung geschult werden.

A Moleküle digital modellieren

Spezielle Computerprogramme können bei der 3D-Modellierung chiraler Moleküle helfen. Die wichtigsten Grundfunktionen der verschiedenen Programme sind im Wesentlichen identisch und bereits aus der Sekundarstufe I bekannt. (Programmvorschläge unter QR-/Mediencode 06041-08). Um die Modelle zweier chiraler Moleküle vergleichen zu können, ist es ratsam, auf dem Bildschirm zwei Browserfenster zu öffnen (B1). So können zwei Molekülmodelle nebeneinander erstellt, bewegt und verglichen werden.



06041-08



B1 Moleküle der D- und L-Milchsäure digital modelliert (Browserfenster 1, Browserfenster 2)

B Moleküle analog modellieren und einen Stop-Motion-Film aufnehmen

Analog lassen sich dreidimensionale Molekülmodelle mit dem Molekülbaukasten erstellen. Dazu soll hier ein Stop-Motion-Film produziert werden. Bei Stop-Motion

handelt es sich um eine besondere Filmtechnik, mit deren Hilfe digitale Daumenkinos erstellt werden können. Hierzu werden einzelne Bilder von reglosen Objekten aufgenommen und anschließend in einer Software aneinandergereiht. Die Software wandelt die Einzelbilder zu einem Film um, wodurch eine Illusion von Bewegung geschaffen wird. (Programmvorschläge unter QR-/Mediencode 06041-09)

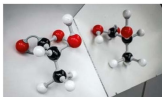


06041-09

Erstellen Sie einen Stop-Motion-Film zur Chiralität von Molekülen. Hierzu benötigen Sie einen Molekülbaukasten, einen Spiegel und ein Tablet oder Smartphone.

VORGEHEN

1. Fotografieren Sie kleinschrittig aussagekräftige Szenen der Schritte 2 bis 4.
2. Bauen Sie mit dem Molekülbaukasten ein Molekülmodell mit mindestens einem chiralen Kohlenstoff-Atom, z. B. das Modell eines Milchsäure-Moleküls (2-Hydroxypropansäure-Molekül).
3. Halten Sie einen Spiegel neben das Molekül und bauen Sie das gespiegelte Molekül mit dem Molekülbaukasten nach (B2).
4. Versuchen Sie nun, die beiden Molekülmodelle zur Deckung zu bringen.
5. Fügen Sie die einzelnen Fotos mithilfe einer Software zu einem Stop-Motion-Film zusammen, der die Chiralität und die damit verbundene Spiegelbildisomerie veranschaulicht.



B2 Molekülmodell der D-Milchsäure und Spiegelbild

AUFGABEN

1. Erstellen Sie mithilfe des Molekülbaukastens einen Stop-Motion-Film zur Chiralität des 2-Aminopropansäure-Moleküls (Alanin-Molekül).
2. Betrachten und vergleichen Sie die Molekülmodelle der beiden Spiegelbildisomere des 2-Aminopropansäure-Moleküls (D- und L-Alanin) in ihrer digitalen dreidimensionalen Darstellung.
3. Nennen Sie Vor- und Nachteile der beiden Methoden Molekülbaukasten und digitale Modellierung zur Veranschaulichung chiraler Moleküle.
4. Es gibt Moleküle mit chiralen Kohlenstoff-Atomen, die dennoch achiral sind. Zeigen Sie diese Besonderheit anhand eines Stop-Motion-Films zum Weinsäure-Molekül (2,3-Dihydroxybutandisäure-Molekül).



2.4 Kohlenhydrate

Ob als Speicherstoffe, Baumaterialien oder Energielieferanten: Kohlenhydrate spielen in unserem Alltag eine zentrale Rolle. Wie lässt sich die Vielfalt dieser Stoffklasse erklären?

2.4.1 Versuche und Material

V Fructose und Glucose nachweisen



Fructose und Glucose sind die wichtigsten Monosaccharide in unserer Ernährung. Wie kann man sie nachweisen und unterscheiden?

V1 Geben Sie auf einen Teelöffel eine Spatelspitze Glucose und pipettieren Sie je 5 Tropfen FEHLING-I-Lösung (Kupfer(II)-sulfatlösung) und FEHLING-II-Lösung (Kaliumnatriumtartratlösung und Natronlauge) hinzu. Erhitzen Sie 1 – 2 Minuten über einem Teelicht. Wiederholen Sie den Versuch mit Fructose.

V2 Lösen Sie in je einem Reagenzglas eine kleine Spatelspitze Glucose bzw. Fructose in je 5 mL Wasser. Geben Sie jeweils 15 – 20 Tropfen SELIWANOW-Reagenz hinzu und erhitzen Sie ca. 3 min über einem Teelicht.

V3 Lösen Sie in je einem Reagenzglas eine kleine Spatelspitze Glucose bzw. Fructose in je 5 mL Wasser. Tauchen Sie jeweils einen GOD-Teststreifen kurz in die Lösungen. Vergleichen Sie mit der Skala auf der Verpackung.

AUSWERTUNG

- Notieren Sie Ihre Versuchsergebnisse tabellarisch.
- Geben Sie zu **V1** eine passende Reaktionsgleichung an.
- Zeichnen Sie das Glucose- und das Fructose-Molekül in FISCHER-Projektion. Vergleichen Sie mit dem Galactose-Molekül (**B1**) und stellen Sie eine Hypothese über den Verlauf von **V2** mit Galactose auf.
- Der GOD-Test (Glucose-Oxidase-Test) basiert auf einer enzymkatalysierten Reaktion. Stellen Sie eine Hypothese über das Ergebnis des GOD-Tests mit Galactose auf.



B1 D-Galactose-Molekül in FISCHER-Projektion

ENTSORGUNG: A, G1, G2

V Strukturaufklärung des Saccharose-Moleküls



Die Struktur des Saccharose-Moleküls wurde erst 1928 vom britischen Nobelpreisträger W. N. HAWORTH vollständig aufgeklärt. Lässt sich diese chemische Spurensuche mit den Mitteln aus unserem Schullabor nachvollziehen?

V4 Führen Sie die FEHLING-Probe wie in **V1** mit Saccharose durch.

V5 Lösen Sie in einer hohen Ampullenflasche einen Spatel Saccharose in 3 mL Wasser. Geben Sie 10 Tropfen 10%ige salzsaure Lösung sowie ein paar Siedesteinchen hinzu. Erhitzen Sie den Ansatz mithilfe eines Reagenzglasalters über dem Teelicht bis zum Sieden. Lassen Sie die Lösung anschließend abkühlen. Geben Sie nun 10 Tropfen 10%ige Natriumhydroxidlösung hinzu, um die Lösung wieder zu neutralisieren. Teilen Sie die Lösung auf und führen Sie die FEHLING-Probe, die SELIWANOW-Probe und den GOD-Test damit durch.

AUSWERTUNG

- Erklären Sie mithilfe einer Reaktionsgleichung, wofür die Vorbereitung der Proben in **V5** vor Durchführung der Tests notwendig ist.
- Leiten Sie aus den Beobachtungen in **V4** und **V5** ab, welche Strukturelemente eines Saccharose-Moleküls mit den Tests jeweils aufgeklärt werden können.
- Der Versuch ist sehr fehleranfällig und kann leicht falsche Ergebnisse liefern. Erläutern Sie Probleme, die entstehen können, wenn Natriumhydroxidlösung und salzsaure Lösung nicht in exakt gleicher Stoffmenge zugegeben werden. Gehen Sie zudem darauf ein, weshalb die Lösung vor dem GOD-Test abgekühlt werden muss.

ENTSORGUNG: A, G1, G2

V Reduzierende und nichtreduzierende Kohlenhydrate



Monosaccharide, wie Glucose und Fructose, lassen sich mit der FEHLING-Probe nachweisen (**V1**). Bei Saccharose gelingt dies nicht ohne Weiteres (**V4**). Reagieren Disaccharide grundsätzlich nicht in der FEHLING-Probe? Wie verhalten sich Polysaccharide?

V6 Führen Sie die FEHLING-Probe wie in **V1** beschrieben mit den folgenden Kohlenhydraten durch: Glucose, Fructose, Saccharose, Maltose, Cellobiose, Lactose, Amylose, Cellulose.

AUSWERTUNG

- Fassen Sie Ihre Beobachtungen in einer Tabelle zusammen.
- Recherchieren Sie die Molekülstrukturen der untersuchten Kohlenhydrate und erklären Sie die Beobachtungen. (Hilfen unter QR-/Mediencode 06041-10)
- Ordnen Sie die untersuchten Stoffe begründet den reduzierenden und den nichtreduzierenden Kohlenhydraten zu.



06041-10

ENTSORGUNG: A, G2

V Nachweis von Kohlenhydraten in Lebensmitteln

Gefährdungsbeurteilung
schülerabhängig

V7 Untersuchen Sie verschiedene Lebensmittel auf Kohlenhydrate. Ihnen stehen die Nachweismethoden auf S. 176 f. zur Verfügung. Planen Sie Ihre Versuchsreihe hypothesengeleitet und sicherheitsgerecht (vgl. S. 16 ff.) führen Sie die Versuche nach Rücksprache mit der Lehrkraft durch.

AUSWERTUNG

- Fassen Sie Ihre Beobachtungen tabellarisch zusammen und überprüfen Sie jeweils, ob Ihre Hypothese gestützt oder falsifiziert wurde.
- Vergleichen Sie die FEHLING-Probe mit der Silberspiegelprobe und der SELIWANOW-Probe (vgl. 176 f.) hinsichtlich Handhabung, Anwendungsbereich und Sicherheitsaspekten.

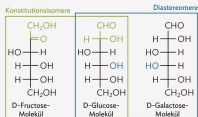
ENTSORGUNG: schülerabhängig

2.4.2 Monosaccharide

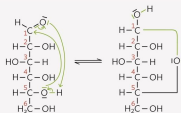
Isomerie bei Monosacchariden

Zur Stoffklasse der Kohlenhydrate gehören die **Monosaccharide** (vgl. S. 15 u. 26). Sie sind für uns Menschen wichtig, da sie unserem Körper als Energielieferanten dienen. Die bekanntesten Monosaccharide aus unseren Lebensmitteln sind **Glucose** („Traubenzucker“) und **Fructose** („Fruchtzucker“). Glucose ist unter anderem in Brot, Kartoffeln und Reis enthalten. Fructose ist Bestandteil verschiedener Früchte und Honig. Die Moleküle der Glucose und der Fructose sind **Konstitutionsisomere**: Die Anzahl der jeweiligen Atome ist identisch, die Atome sind jedoch im Molekül unterschiedlich verknüpft (B1).

Ein weiteres wichtiges Monosaccharid ist **Galactose**, welche überwiegend in Milchprodukten und z. B. Tomaten und Datteln enthalten ist. Für Menschen mit Diabetes ist Galactose ein wichtiger Ersatz für Glucose, da Galactose insulinunabhängig verstoffwechselt werden kann und damit der Blutzuckerspiegel nicht beeinflusst wird (vgl. S. 61). Das Galactose-Molekül ist ein **Diastereomer** der Glucose-Moleküls, da sich die Anordnung der Hydroxy-Gruppe am chiralen C4-Kohlenstoff-Atom unterscheidet (B1).



B1 FISCHER-Projektionen wichtiger Monosaccharid-Moleküle



B2 Ringschluss des D-Glucose-Moleküls

Ringschluss und HAWORTH-Projektion

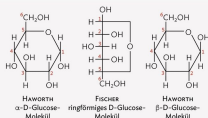
Durch eine nukleophile Addition zwischen einer Hydroxy-Gruppe und der Carbonyl-Gruppe in einem Monosaccharid-Molekül können offenkettige zu ringförmigen Molekülen reagieren. Beim Ringschluss des Glucose-Moleküls entsteht beispielsweise ein Sechsring aus fünf Kohlenstoff-Atomen und einem Sauerstoff-Atom (B2). Da die Darstellung in der FISCHER-Projektion für das ringförmige Molekül unpraktisch ist, nutzt man hier meist die sogenannte **HAWORTH-Projektionsformel** (B3).

Der Ring wird dabei so gezeichnet, als würden die sechs Atome des Rings in einer Ebene liegen. Diese Darstellung entspricht nicht der realen räumlichen Struktur, da aufgrund der tetraedrischen Anordnung der Bindungspartner an den Kohlenstoff-Atomen keine planare Struktur möglich ist. Die Anordnung der Substituenten über und unter der gedachten Ebene entspricht aber der realen Anordnung.

Durch den Ringschluss entsteht ein neues Chiralitätszentrum am Kohlenstoff-Atom C1. Die Hydroxy-Gruppe an dieser Position kann in der HAWORTH-Projektion entweder oben oder unten stehen (B3). Das chirale Kohlenstoff-Atom nennt man **anomeres Zentrum** und die möglichen Isomere heißen **Anomere**.

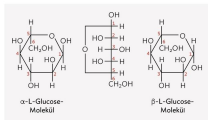
Regeln zur HAWORTH-Projektion:

1. Das C1-Kohlenstoff-Atom steht immer rechts.
2. Bei einem Sechsring wird das Sauerstoff-Atom rechts oben gezeichnet. Bei einem Fünfring steht das Sauerstoff-Atom oben.
3. Die Atome und Atomgruppen, die in der FISCHER-Projektion links stehen, werden in der HAWORTH-Projektion oben gezeichnet (FLOH-Regel), diejenigen die rechts stehen, werden entsprechend in der HAWORTH-Projektion unten gezeichnet.

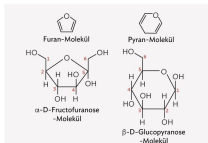


B3 Von der FISCHER- zur HAWORTH-Projektion

Für die D-Form gilt: Steht die Hydroxy-Gruppe in der HAWORTH-Projektion unten, handelt es sich um das α -Anomer, steht sie oben, liegt das β -Anomer vor (B3). Für die L-Form gilt: Steht die Hydroxy-Gruppe in der HAWORTH-Projektion oben, handelt es sich um das α -Anomer, steht sie unten, liegt das β -Anomer vor (B4).



B4 HAWORTH-Projektionen der L-Glucose-Moleküle



B5 Ursprung der Nomenklatur ringförmiger Monosaccharid-Moleküle

Die beiden Anomere können in wässriger Lösung über die offenkettige Form ineinander überführt werden. Es bildet sich ein Gleichgewicht, bei dem die Anomere in einem bestimmten Verhältnis zueinander vorliegen. Man spricht vom **Anomeren-Gleichgewicht**.

Pyranose und Furanose

Entsteht beim Ringschluss eines Monosaccharid-Moleküls ein Sechsring, liegt das Molekül in der sogenannten **Pyranose-Form** vor, da der Ring dem Pyran-Molekül ähnelt. Entsteht ein Fünfring, liegt das Molekül in der **Furanose-Form** vor, da der Ring dem Furan-Molekül ähnelt. Ein ringförmiges Monosaccharid-Molekül wird wie folgt benannt (B5):

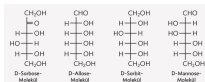
1. „ α -“ bzw. „ β -“ (je nach Anomer):
z. B. α -D-Fructofuranose
2. Name des Monosaccharids ohne die Endung -se:
z. B. α -D-Fructofuranose
3. Endung -pyranose bzw. -furanose, je nachdem, ob ein Sechsring oder ein Fünfring vorliegt:
z. B. α -D-Fructofuranose

Monosaccharid-Moleküle können ringförmig vorliegen und werden dann meist in der HAWORTH-Projektion dargestellt. Das beim Ringschluss entstehende chirale Kohlenstoff-Atom nennt man anomeres Zentrum. Je nach Stellung der Hydroxy-Gruppe am anomeren Zentrum liegt das α - oder das β -Anomer vor. Sechsring-förmige Monosaccharid-Moleküle heißen Pyranose, fünfring-förmige Furanose.

AUFGABEN

- A1** Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus für den Ringschluss des D-Galactose-Moleküls.
- A2** Zeichnen Sie alle möglichen HAWORTH-Projektionsformeln des D-Galactose-, des L-Galactose-, des L-Glucose- und des L-Fructose-Moleküls. Benennen Sie die Moleküle.
- A3** a) Übernehmen Sie die Formeln aus B6 in Ihre Unterlagen, markieren Sie alle chiralen Zentren und entscheiden Sie begründet, welche Art von Isomerie zum D-Glucose-Molekül vorliegt.
b) Geben Sie begründet an, bei welchen der Moleküle es sich um Monosaccharid-Moleküle handelt (vgl. S. 15).

- A4** „Low-Carb“ ist eine Ernährungsform, bei der möglichst wenig Kohlenhydrate aufgenommen werden sollen. Beurteilen Sie diese Ernährungsform unter Berücksichtigung der Bedeutung und des Vorkommens von Monosacchariden.



B6 FISCHER-Projektionen zu A3

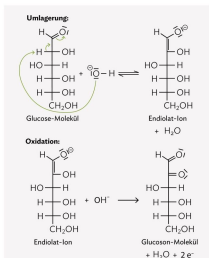
2.4.3 Nachweise von Monosacchariden

Nachweise funktioneller Gruppen

Um herauszufinden, ob Monosaccharide in einem Lebensmittel enthalten sind, gibt es verschiedene Nachweismethoden (vgl. S. 176 f.). Die Hydroxy-Gruppen in den Molekülen können mithilfe von **Ammoniumcer(IV)-nitrat** nachgewiesen werden. Die Carbonyl-Gruppe lässt sich mit **Dinitrophenylhydrazin** nachweisen.

Die Aldehyd-Gruppe im Glucose- und im Galactose-Molekül kann mittels der **FEHLING-** oder der **Silberspiegelprobe** nachgewiesen werden. Die Nachweise beruhen jeweils auf den reduzierenden Eigenschaften der Monosaccharide. Anders als lange angenommen, wird dabei vermutlich nicht die Aldehyd-Gruppe zur Carboxy-Gruppe oxidiert. Stattdessen findet in basischer Lösung eine Umlagerung (Keto-Enol-Tautomerie) statt, wobei z. B. ein Glucose-Molekül zu einem Endiolat-Ion reagiert (**B6**). Dieses kann wiederum mittels FEHLING- bzw. Silberspiegelprobe zum Glucoson-Molekül oxidiert werden.

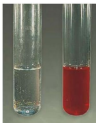
Da auch das Fructose-Molekül zum Endiolat-Ion umgelagert werden kann, verlaufen FEHLING- und Silberspiegelprobe auch mit Fructose positiv. Die SCHIFFSche Probe zum Nachweis von Aldehyden funktioniert dagegen bei Monosacchariden grundsätzlich nicht.



B6 Umlagerung und anschließende Oxidation eines Glucose-Moleküls

Unterscheidung von Fructose und Glucose

Zur Unterscheidung von Fructose und Glucose kann die **SELIWANOW-Probe** genutzt werden (vgl. S. 177). Erhitzt man Fructose mit salzsaurer Lösung, spaltet sich ein Wasser-Molekül ab und es entsteht ein Zwischenprodukt, das mit ethanolischer Resorcinlösung zu einem rötlichen Farbstoff reagiert (**B7**). Glucose geht diese Reaktion nicht ein. Allgemein lassen sich diejenigen Monosaccharide mit der SELIWANOW-Probe nachweisen, die eine Keto-Gruppe im offenkettigen Molekül tragen (Ketosen). Monosaccharide mit Aldehyd-Gruppen im offenkettigen Molekül (Aldosen) reagieren dagegen nicht. Ein spezifischer Nachweis für Glucose ist der **GOD-Test** (Glucose-Oxidase-Test, **B8**). Hierbei handelt es sich um Teststreifen, deren Testfeld in Anwesenheit von Glucose aufgrund einer enzymkatalysierten Reaktion die Farbe von gelb nach grün bzw. blau wechselt.



B7 SELIWANOW-Probe ohne (links) und mit (rechts) Fructose



B8 GOD-Teststreifen

Aufgrund der reduzierenden Eigenschaften lassen sich Monosaccharide mittels FEHLING- und Silberspiegelprobe nachweisen. Die SELIWANOW-Probe eignet sich zur Unterscheidung von Aldosen und Ketosen. Der GOD-Test ist ein spezifischer Nachweis für Glucose.

AUFGABEN

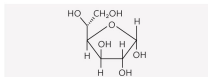
- A1** Geben Sie jeweils die Reaktionsgleichung der Reduktion bei der FEHLING-Probe und der Silberspiegelprobe an.
- A2** Stellen Sie die Reaktionsgleichungen auf, die bei der Silberspiegelprobe mit Fructose zu einem positiven Ergebnis führen.

2.4.4 Molekülmodelle von Kohlenhydraten digital darstellen

Um Molekülmodelle digital darzustellen, benötigt man ein chemisches Zeichenprogramm. Viele Zeichenprogramme ermöglichen sogar eine dreidimensionale Ansicht eines Molekülmodells, sodass man sich die räumliche Struktur besser vorstellen kann. Es gibt verschiedene Zeichenprogramme, doch prinzipiell funktionieren sie alle auf dieselbe Weise. Eine Liste mit Programmen finden Sie unter QR-/Mediencode 06041-11.



06041-11



B9 HAWORTH-Projektion des α -D-Glucopyranose-Moleküls

Erstellen Sie eine Keilstrichformel und eine 3D-Darstellung des α -D-Glucopyranose-Moleküls (**B9**).

Vorgehen

1. Wählen Sie in der Symbolleiste das passende Ringsystem-Werkzeug aus.
2. Wählen Sie das Elementsymbol für das Sauerstoff-Atom aus und klicken Sie an die Stelle im Ring, an der das Sauerstoff-Atom sein soll.
3. Um die richtige 3D-Darstellung zu erreichen, ist es wichtig, in der 2D-Darstellung Keilstriche für die räumliche Anordnung zu verwenden. Wählen Sie dazu aus den Bindungswerkzeugen den gestrichelten Keil aus und zeichnen Sie an jedes Kohlenstoff-Atom, an dem eine nach unten stehende Atom-Gruppe gebunden ist, einen gestrichelten Keil. Wählen Sie aus den Bindungswerkzeugen den ausgemalten Keil aus, um alle nach oben stehenden Gruppen einzuzichnen. *Hinweis:* Wasserstoff-Atome, die an den Kohlenstoff-Atomen des Rings gebunden sind, müssen nicht gezeichnet werden.
4. Wählen Sie erneut das Elementsymbol für das Sauerstoff-Atom aus, und klicken Sie an die Enden der Keile, an denen eine Hydroxy-Gruppe steht.
5. Ergänzen Sie noch fehlende Bindungen und Atome.
6. Um das Molekül in einer dreidimensionalen Darstellung anzeigen zu lassen, klicken Sie auf die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste. Drehen Sie das 3D-Modell, um es von allen Seiten zu betrachten.

	Schaltfläche in der Symbolleiste	Darstellung im Zeichenfeld
1		
2		
3		
4		
5	 	
6		

AUFGABEN

- A1** Zeichnen Sie je ein ringförmiges Fructose- und Galactose-Molekül in einem chemischen Zeichenprogramm. Vergleichen Sie die dreidimensionale Darstellung der beiden Moleküle und beschreiben Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede.
- A2** Zeichnen Sie das Maltose-Molekül (S. 54 **B10**) in einem chemischen Zeichenprogramm und wandeln Sie die zweidimensionale Darstellung in eine dreidimensionale Darstellung um.

2.4.5 Disaccharide

Übersicht verschiedener Disaccharide

Die Moleküle der **Disaccharide** bestehen aus jeweils zwei Monosaccharid-Bausteinen. Die Eigenschaften der Disaccharide ähneln somit denen der Monosaccharide. Aufgrund der vielen polaren Hydroxy-Gruppen in den Molekülen sind sämtliche Vertreter der beiden Stoffgruppen gut wasserlöslich.

Die zwei wichtigsten Vertreter der Disaccharide sind **Saccharose** (Haushaltszucker) und **Lactose** (Milchzucker). Beide spielen heutzutage eine wichtige Rolle in unserer Ernährung. Im Saccharose-Molekül sind ein α -D-Glucopyranose- und ein β -D-Fructofuranose-Baustein miteinander verknüpft (**B10**). Im Lactose-Molekül sind ein β -D-Glucopyranose- und ein β -D-Galactopyranose-Baustein miteinander verknüpft (**B10**).

Auch das Disaccharid **Maltose** (Malz Zucker) spielt eine wichtige Rolle in der Lebensmittelindustrie. Es entsteht beim Keimen von Getreide sowie beim Abbau von Stärke (vgl. S. 56 und S. 80). Verwendung findet Maltose beispielsweise beim Bierbrauen. Das Maltose-Molekül besteht aus zwei α -D-Glucopyranose-Bausteinen (**B10**). **Cellobiose** (**B10**) findet sich in Natur und Lebensmitteln wesentlich seltener als Maltose. Das liegt unter anderem daran, dass im menschlichen Körper kein Enzym für den Abbau von Cellobiose vorliegt (vgl. Kap. 3.1). Cellobiose bildet jedoch den Grundbaustein zur Herstellung von Cellulose, den mit Abstand häufigsten organischen Stoff auf unserem Planeten (vgl. S. 57).

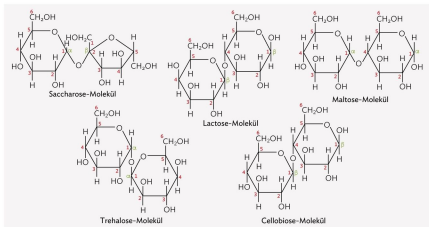
Trehalose (Pilzzucker, **B10**) ist in der Natur relativ verbreitet. Es kommt in vielen Pilzen und Pflanzen vor. Außerdem ist Trehalose ein wichtiger Bestandteil der zirkulierenden Körperflüssigkeit vieler Insekten.

Die glykosidische Bindung

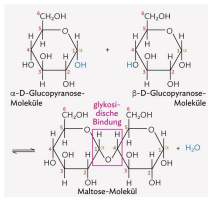
Bei der Synthese von Maltose reagieren zwei α -D-Glucopyranose-Moleküle zu einem Maltose-Molekül. Dabei wird je ein Wasser-Molekül abgespalten (**B11**). Es handelt sich um eine Kondensationsreaktion. Die Monosaccharid-Bausteine sind im Disaccharid-Molekül über eine **glykosidische Bindung** miteinander verknüpft. Die glykosidische Bindung bildet sich als Sauerstoff-Atombrücke zwischen dem anomeren Kohlenstoff-Atom eines Monosaccharid-Moleküls und einem Kohlenstoff-Atom eines zweiten Monosaccharid-Moleküls, welches nicht unbedingt das anomere Zentrum sein muss.

Zur genauen Beschreibung der glykosidischen Bindung werden die Nummern der beteiligten Kohlenstoff-Atome angegeben: Die α -D-Glucose-Bausteine im Maltose-Molekül sind 1,4-glykosidisch verknüpft. Die gleichen Bausteine sind im Trehalose-Molekül 1,1-glykosidisch verknüpft (**B10**). Aus den gleichen Bausteinen können sich also unterschiedliche Moleküle bilden.

Sobald sich eine glykosidische Bindung gebildet hat, kann das an der Bindung beteiligte anomere Zentrum nicht mehr zwischen α - und β -Form wechseln. Dadurch können wiederum unterschiedliche Disaccharid-Moleküle



B10 HAWORTH-Projektionen wichtiger Disaccharid-Moleküle



B11 Synthese eines Maltose-Moleküls

entstehen. So sind sowohl im Maltose- als auch im Cellobiose-Molekül jeweils zwei Glucose-Bausteine 1,4-glykosidisch miteinander verknüpft. Jedoch handelt es sich im Maltose-Molekül um die α -Form und im Cellobiose-Molekül um die β -Form des Glucose-Bausteins, der mit dem anomeren Kohlenstoff-Atom an der Bindung beteiligt ist (B10). Man spricht entsprechend von einer α - bzw. β -1,4-glykosidischen Bindung. Wenn beide Monosaccharid-Bausteine jeweils mit ihren anomeren Zentren an der Bindung beteiligt sind, gibt man die Konfiguration beider anomeren Zentren an: Im Trehalose-Molekül liegt eine α , α -1,1'-glykosidische Bindung vor (B10).

AUFGABEN

- A1** Notieren Sie jeweils die Monosaccharid-Moleküle in HAWORTH-Projektion, aus denen die in B10 dargestellten Disaccharid-Moleküle gebildet werden. Benennen Sie die Monosaccharid-Moleküle sowie jeweils die glykosidische Bindung in den Disaccharid-Molekülen.
- A2** Bestätigen Sie mithilfe eines Computerprogramms, dass es sich bei den Monosaccharid-Bausteinen im Trehalose- und im Maltose-Molekül (B10) um dieselben Bausteine handelt (vgl. KK S. 53).
- A3** Geben Sie begründet an, ob es sich bei Saccharose und Lactose um reduzierende oder nicht-reduzierende Disaccharide handelt.
- A4** Beschreiben Sie eine Abfolge an Versuchen, um den Aufbau des Trehalose-Moleküls genau zu

Reduzierende und nicht-reduzierende Disaccharide

Sämtliche Monosaccharide zeigen eine positive Reaktion bei der Silber Spiegel- und der FEHLING-Probe (vgl. S. 52). Die Monosaccharid-Moleküle werden dabei in ihrer offenkettigen Form oxidiert.

Wird die Hydroxy-Gruppe am anomeren Zentrum Teil einer glykosidischen Bindung, können sich die ringförmigen Anomere nicht mehr in ihre offenkettige Form umwandeln. Ist dies bei beiden Monosaccharid-Bausteinen eines Disaccharid-Moleküls der Fall, wie im Trehalose-Molekül, ist das Disaccharid-Molekül nicht mehr oxidierbar. Das Disaccharid zeigt bei entsprechenden Nachweisreaktionen ein negatives Ergebnis. Je nach Position der glykosidischen Bindung im Disaccharid-Molekül unterscheidet man daher die Stoffklassen der **reduzierenden** und der **nicht-reduzierenden** Disaccharide.

Disaccharid-Moleküle bestehen aus je zwei Monosaccharid-Bausteinen, die über eine glykosidische Bindung miteinander verknüpft sind. Mindestens einer der Monosaccharid-Bausteine ist mit seinem anomeren Zentrum an der Bindung beteiligt. Man unterscheidet zwischen reduzierenden und nicht-reduzierenden Disacchariden. Bei den nicht-reduzierenden Disacchariden sind in den Molekülen beide anomeren Zentren der Bausteine an der glykosidischen Bindung beteiligt.

bestimmen. Gehen Sie auch auf die jeweils zu erwartenden Ergebnisse der Versuche ein und erläutern Sie den Zusammenhang zu den jeweiligen Strukturelementen des Disaccharid-Moleküls.

- A5** Raffinose wird von vielen Pflanzen als Speichersubstanz eingesetzt. Es handelt sich um ein sogenanntes Trisaccharid, dessen Moleküle aus drei Monosaccharid-Bausteinen bestehen. In einem Raffinose-Molekül ist ein α -D-Galactose-Baustein 1,6-glykosidisch mit dem Glucose-Baustein eines Saccharose-Moleküls verknüpft. Zeichnen Sie ein Raffinose-Molekül in der HAWORTH-Projektion.
- A6** Stellen Sie eine Vermutung auf, welcher Vorgang in Menschen mit Lactose-Unverträglichkeit nicht mehr ablaufen kann und formulieren Sie eine entsprechende Reaktionsgleichung.

2.4.6 Polysaccharide

Die wichtigsten Polysaccharide im Vergleich

Polysaccharide bestehen aus vielen Monosaccharid-Bausteinen, die jeweils über eine glykosidische Bindung miteinander verknüpft sind. Die Anzahl der Monosaccharid-Bausteine in einem Molekül kann zwischen wenigen hundert bis hin zu ca. 10.000 reichen. Die Anzahl hängt stark von der Struktur des jeweiligen Polysaccharid-Moleküls ab.

Polysaccharide kommen hauptsächlich als Speicher- und Baustoffe in der Natur und im menschlichen Körper vor. Sie können aber auch in anderen Bereichen wie z. B. der Schleimbildung Einsatz finden. Bei der Verdauung wird das Polysaccharid Stärke mithilfe von Enzymen in Disaccharide und schließlich Monosaccharide gespalten (vgl. S. 80).

Stärke und ihre Varianten

Das Polysaccharid **Stärke** ist das wichtigste Kohlenhydrat in unserer Ernährung. Durch enzymatische Spaltung entsteht während der Verdauung zunächst Maltose und daraus Glucose, die wichtig für den Energiestoffwechsel ist.

Genau genommen ist Stärke ein Stoffgemisch aus den Varianten **Amylose** und **Amylopektin**. Die genaue Zusammensetzung liegt in der Natur meist bei 20 bis 30 % Amylose und 70 bis 80 % Amylopektin. Kartoffeln enthalten beispielsweise ca. 20 % Amylose und ca. 80 % Amylopektin. Die Moleküle der Amylose bestehen aus ca. 100 bis 1.400 α -D-Glucopyranose-Bausteinen, die jeweils 1,4-glykosidisch miteinander verknüpft sind (**B12** links). Amylopektin-Moleküle bestehen aus dem gleichen Grundgerüst. Zusätzlich sind jedoch weitere α -D-

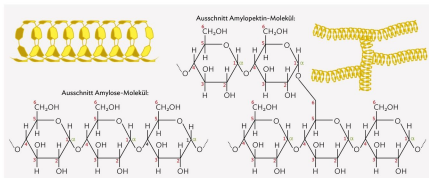
Glucopyranose-Bausteine 1,6-glykosidisch verknüpft (**B12** rechts). Dadurch bilden sich neben der Hauptkette weitere Seitenketten aus Glucose-Bausteinen in dem Molekül. Insgesamt enthält ein Amylopektin-Molekül ca. 1.200 bis 6.200 Glucose-Bausteine.

In beiden Varianten der Stärke sind die Moleküle nicht linear, sondern spiralförmig angeordnet. Dies wird durch die Bindungswinkel an der glykosidischen Bindung bedingt (**B12**) und durch Wasserstoffbrücken zwischen Hydroxy-Gruppen stabilisiert. Der blaue Farbstoff, der sich bei einer positiven Iodprobe mit Stärke bildet, ist auf den spiralförmigen Aufbau der Moleküle zurückzuführen (vgl. S. 152 und S. 178).

Da die Hydroxy-Gruppen der Stärke-Moleküle untereinander Wasserstoffbrücken ausbilden, können sie mit umgebenden Wasser-Molekülen nur wenig wechselwirken. Amylopektin ist daher wasserunlöslich. Amylose ist aufgrund der geringeren Molekülgröße bedingt wasserlöslich.

Glykogen

Das Polysaccharid **Glykogen** wird auch als „tierische Stärke“ oder „Leberstärke“ bezeichnet, da ihre Moleküle ebenfalls aus α -D-Glucopyranose-Bausteinen aufgebaut sind und bei einem Überangebot von Glucose zur Speicherung in Leber- und Muskelzellen aufgebaut wird. Glykogen-Moleküle enthalten wie Amylopektin-Moleküle 1,6-glykosidisch verknüpfte Verzweigungen. Während im Amylopektin-Molekül nur durchschnittlich jeder 25. α -D-Glucopyranose-Baustein der Hauptkette eine Seitenkette trägt, ist dies beim Glykogen-Molekül bei ca. jedem zehnten Baustein der Fall.



B12 Ausschnitte aus einem Amylose- und einem Amylopektin-Molekül: haworth-Projektion und Modelldarstellung

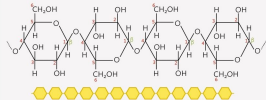
Cellulose

Cellulose ist Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände (B14) und somit das mit Abstand häufigste natürlich vorkommende Kohlenhydrat. Da Menschen keine Enzyme zur Spaltung von Cellulose besitzen, kann Cellulose im menschlichen Verdauungstrakt nicht verdaut werden. Es handelt sich jedoch um einen wichtigen Ballaststoff in unserer Ernährung (vgl. S. 28).

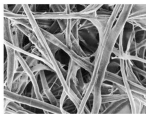
In einem Cellulose-Molekül sind β -D-Glucopyranose-Bausteine 1,4-glykosidisch verknüpft, wobei jeder zweite Baustein um jeweils 180° gedreht ist. Im Gegensatz zu Stärke-Molekülen sind Cellulose-Moleküle daher linear geformt (B13). Ein Cellulose-Molekül besteht aus 1.000 bis 10.000 Glucose-Bausteinen. Benachbarte Cellulose-Moleküle können daher besser Wasserstoffbrücken ausbilden als spiralförmige Stärke-Moleküle. Cellulose ist demzufolge wasserunlöslich und zudem sehr stabil. Aus diesem Grund wird Cellulose in der Na-

tur als Baustoff, beispielsweise im Holz, eingesetzt. Anwendung findet Cellulose auch in unserem Alltag vor allem in Form von Holz und Papier.

Polysaccharid-Moleküle bestehen aus einer großen Anzahl an Monosaccharid-Bausteinen, die über glykosidische Bindungen miteinander verknüpft sind. Die beiden wichtigsten Vertreter sind Stärke (Amylose und Amylopektin) und Cellulose. Die Moleküle der Stärke sind aus α -D-Glucopyranose-Bausteinen aufgebaut und spiralförmig geformt. Die Moleküle der Cellulose sind aus β -D-Glucopyranose-Bausteinen aufgebaut und linear geformt. Die meisten Polysaccharide sind schlecht oder gar nicht in Wasser löslich.



B13 Ausschnitte aus einem Cellulose-Molekül: HAWORTH-Projektion und Modellardarstellung



B14 Cellulose-Fibrillen in Zellwand (Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme)

AUFGABEN

A1 Bauen Sie jeweils ein Modell des Amylose- und des Cellulose-Moleküls (Ausschnitt) und vergleichen Sie die sich ergebende Struktur.

A2 Geben Sie an, welche Disaccharid-Bausteine jeweils im Amylose- und im Cellulose-Molekül verbaut sind.

A3 Die FEHLING-Probe und andere Nachweise für reduzierende Disaccharide (vgl. S. 55) verlaufen für Cellobiose und Maltose positiv, aber für Cellulose und Stärke negativ. Erklären Sie diesen Unterschied mit Bezug auf die Molekülstrukturen.

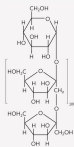
A4 Skizzieren Sie eine Modellardarstellung, mit der der Iod-Stärke-Nachweis auf Teilchenebene erklärt werden kann.

A5 Inulin ist ein wichtiger Stoff in der Lebensmittelindustrie.

a) Beschreiben Sie die Zusammensetzung und Verknüpfung der Bausteine im Inulin-Molekül so genau wie möglich mit Fachbegriffen (B15).

b) Recherchieren Sie Vorkommen und Verwendung von Inulin.

A6 Dank ihrer guten Quelleigenschaften kann Stärke auch für die Erzeugung von Folien, Verpackungen und Essgeschirr verwendet werden, die nach dem Gebrauch kompostierbar und theoretisch sogar essbar sind. Erklären Sie die Quelleigenschaft der Stärke auf Teilchenebene.



B15 Inulin-Molekül

Makronährstoffe



2.5 Bedeutung von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen in der Ernährung

Makronährstoffe sind lebenswichtige Stoffe und müssen vom Menschen mit der Nahrung aufgenommen werden. Sie dienen der Energieversorgung der Zellen oder werden im Baustoffwechsel zu körpereigenen Stoffen umgewandelt. Wie hängen der molekulare Bau der Makronährstoffe und deren biologische Bedeutung zusammen?

2.5.1 Versuche und Material

V Das Gummibärchen im Flammeninferno



Süßwaren wie Gummibärchen führen bei ausgiebigem Genuss schnell zur Gewichtszunahme eines Menschen. Ist in einem Gummibärchen Energie chemisch gespeichert?

LV1 Es werden ca. 6 g festes Kaliumchlorat (KClO_3 (s)) in ein schwermelzendes Reagenzglas gefüllt. Dieses wird im Abzug an einem Stativ befestigt. Unter das Reagenzglas wird eine mit Löschsand halb gefüllte Blechbüchse als Auffanggefäß platziert, falls das Reagenzglas bei der Reaktion durchschmelzen sollte.

Das Reagenzglas wird mit dem Gasbrenner so lange erhitzt, bis das Kaliumchlorat vollständig geschmolzen ist. Nun wird mit einer Tiegelzange ein Gummibärchen vorsichtig hinzugegeben.

(Video zum Versuch unter
QR-/Mediencode 06041-38)



06041-38

AUSWERTUNG

- Erstellen Sie ein Protokoll zu LV1. Geben Sie darin die Gleichung für eine Reaktion an, bei der Glucose mit Kaliumchlorat zu Wasser, Kohlenstoffdioxid und Kaliumchlorid reagiert.
- Unter QR-/Mediencode 06041-12 finden Sie die Zusammensetzung von Gummibärchen. Erstellen Sie daraus mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogrammes ein aussagekräftiges Diagramm.
- Wandeln Sie Ihr Diagramm aus b) so um, dass es sich für eine Werbung des Süßwarenherstellers eignet. Passen Sie dafür z. B. Skalierung, Farbgestaltung und Beschriftung an, ohne die Inhalte des Diagramms zu verfälschen.
- Recherchieren Sie den Energiegehalt von 200 g Gummibärchen. Ermitteln Sie unter Zuhilfenahme einer Waage den Energiegehalt eines Gummibärchens.



06041-12

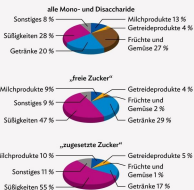
ENTSORGUNG: A (stark verdünnt)

M „Zucker“ in der Ernährung

M2 Der umgangssprachliche Begriff „Zucker“ umfasst alle Mono- und Disaccharide. „Zucker“ sind wichtig für die Energieversorgung des Körpers. Bei erheblichem Konsum können sie aber Übergewicht (Adipositas) oder Diabetes begünstigen.

AUSWERTUNG

- Recherchieren Sie die Definitionen der Fachbegriffe „freie Zucker“ und „zugeseetzter Zucker“ gemäß der WHO (World Health Organisation). Zeigen Sie anhand der Recherche kurz den Zusammenhang zwischen „freien Zuckern“ und Adipositas auf.
- Vergleichen Sie anhand von **B1** das Vorkommen von „freien Zuckern“ sowie „zugeseetzten Zuckern“ in den verschiedenen Nahrungsquellen. Leiten Sie hieraus Empfehlungen für die tägliche Ernährung ab.



B1 Quellen von „Zuckern“ in der Ernährung

M Kugel-Stab-Modelle von Aminocarbonsäure- und Dipeptid-Molekülen

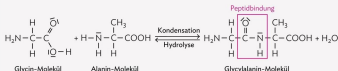
Proteine bestehen aus langkettigen Molekülen, die aus vielen Aminocarbonsäure-Bausteinen aufgebaut sind. Wie sind die Moleküle der Aminocarbonsäuren aufgebaut und wie lassen sich diese miteinander verknüpfen?

M3 Ein Aminocarbonsäure-Molekül enthält als funktionelle Gruppen eine Carboxy- und eine Amino-Gruppe ($-\text{NH}_2$). Bauen Sie mithilfe eines Modellbaukastens das Kugel-Stab-Modell des in **B2** abgebildeten Alanin-Moleküls.

M4 Ein Dipeptid-Molekül ist aus zwei Aminocarbonsäure-Bausteinen aufgebaut. Bauen Sie mithilfe eines Modellbaukastens das Dipeptid-Molekül Glycylalanin (**B2**).

AUSWERTUNG

- Vergleichen Sie den Molekülbau der Aminocarbonsäuren Alanin und Glycin miteinander. Gehen Sie dabei auch auf eine mögliche optische Aktivität ein.
- Erstellen Sie die Strukturformel des Dipeptid-Moleküls Glycylalanin mithilfe eines Computerprogramms (vgl. KK S. 53) und wandeln Sie diese in ein dreidimensionales Modell um.
- Beschreiben Sie Vor- und Nachteile des analogen Molekülbaukastens und des digitalen Modells.

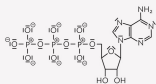


B2 Verknüpfung zweier Aminocarbonsäure-Moleküle

2.5.2 Lebenswichtige Stoffe für die Energieversorgung

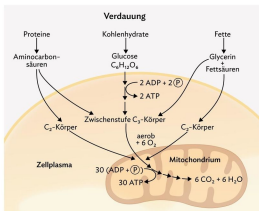
Zellatmung

Die Makronährstoffe, vor allem Kohlenhydrate und Fette, werden in den Zellen unter aeroben Bedingungen durch Oxidation abgebaut. Dabei wird die in den Nährstoffen chemisch gespeicherte Energie für die Zellen nutzbar. Sie wird in Form des mobilen und universellen Energieträgers **Adenosintriphosphat (ATP)** übertragen (B1).



B1 Formel des Adenosintriphosphat-Moleküls

Die Zellatmung läuft in der Zelle als mehrstufige exotherme Reaktion ab, zum Teil bereits im Zellplasma (B2). Der wesentliche, energieliefernde Schritt läuft jedoch in den Mitochondrien ab. Aus energiereicher Glucose werden mit Sauerstoff in einer exothermen Reaktion unter Bildung von ATP in mehreren biochemischen Schritten die energiearmen Verbindungen Wasser und Kohlenstoffdioxid gebildet:



B2 Übersicht über die aeroben Abbauvorgänge in der Zelle; (P): Phosphat-Gruppe

Je nach Gewebe werden dabei pro Mol Glucose 30 bis 32 mol ATP gewonnen (B2).

Dem menschlichen Körper stehen neben Kohlenhydraten vor allem Fette als weitere Energiespeicher zur Verfügung. Wann und wie diese Energiespeicher eingesetzt werden, hängt von der Art und der Dauer der körperlichen Belastung ab.

Bedeutung der Kohlenhydrate

Kohlenhydrate werden mithilfe von Sonnenenergie durch **Fotosynthese** in allen grünen Pflanzen aufgebaut. Das Primärprodukt Glucose wird in der Pflanze durch verschiedene Stoffwechselvorgänge in die unterschiedlichen Kohlenhydrate umgewandelt. In Form von Stärke dient es der Pflanze als Speicherstoff.

Kohlenhydrate sind somit die wichtigsten natürlichen Speicherstoffe für chemisch gebundene Energie (LV1). Sie werden vom Menschen durch den Verzehr von Obst und Gemüse oder durch pflanzliche, verarbeitete Produkte, wie Backwaren und Nudeln, aufgenommen. Bei der Verdauung wird beispielsweise Stärke zu Glucose abgebaut. Diese wird durch die Dünndarmwand hindurch vom Blut aufgenommen und zu den Zellen transportiert.

Kohlenhydrate im Überangebot?

Wird durch eine kohlenhydratreiche Ernährung eine zu große Menge an Kohlenhydraten aufgenommen, so liegt zu viel Glucose im Blut vor. Diese wird dann in Leber- und Muskelzellen zum Speicherstoff Glycogen umgewandelt (B3). Die im Glycogen gespeicherte chemische Energie kann bei Bedarf wieder durch Umwandlung in Glucose und deren anschließende Verstoffwechselung in den Zellen freigesetzt werden.

„Freie Zucker“ umfassen gemäß WHO Monosaccharide (Glucose, Fructose, Galactose) und Disaccharide (Saccharose, Lactose, Maltose, Trehalose), die Hersteller oder Verbraucher Lebensmitteln zusetzen oder die in Honig, Sirup, Fruchtsaft und Fruchtsaftkonzentrat natürlich vorkommen (M2). Nimmt man mehr freie Zucker auf, als der Körper verarbeiten kann, so steigt der Blutzuckerspiegel rasant an. Der Körper muss ständig Insulin produzieren, damit Glucose in die Zellen aufgenommen werden kann (B4). Dies kann zur Folge haben, dass die Zellen irgendwann nicht mehr richtig auf Insulin reagieren

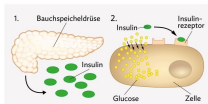
und Glucose nicht mehr von den Zellen aufgenommen wird. Dieser Umstand ist ursächlich für die Krankheit **Diabetes mellitus Typ II**.

Ein Überangebot an freien Zuckern kann außerdem zu Übergewicht und Adipositas führen, da überschüssige Glucose zu Fett umgewandelt und in Fettzellen als Energiereserve gespeichert wird. Bei diesem Krankheitsbild liegt der **Bodymassindex BMI** laut WHO (Weltgesundheitsorganisation) bei über 30. Dieser wird wie folgt berechnet:

$$\text{BMI} = \frac{\text{Körpergewicht in kg}}{(\text{Körpergröße in m})^2}$$



B3 Kohlenhydratstoffwechsel

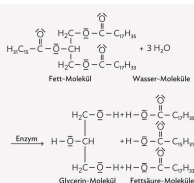


B4 Schematische Darstellung der Glucose-Aufnahme in eine Muskelzelle bei einer gesunden Person

Die Bedeutung der Fette als Betriebsstoffe

Fette speichern große Energiemengen und haben den höchsten Brennwert bei den Makronährstoffen. Sie liefern mit 37 kJ pro Gramm etwa doppelt so viel Energie wie Proteine oder Kohlenhydrate. Bei Energiebedarf des Körpers können die in Fettzellen gespeicherten Fette abgebaut werden. Die Fett-Moleküle werden dabei hydrolytisch in Glycerin- und Fettsäure-Moleküle gespalten (**B5**).

Die freigesetzten langkettigen Fettsäure-Moleküle werden anschließend stufenweise um jeweils zwei Kohlenstoff-Atome gekürzt, bis sie vollständig abgebaut sind. Alle Spaltprodukte werden dann bei der Zellatmung zum Aufbau von ATP genutzt (**B2**).



B5 Enzymatische Hydrolyse eines Fett-Moleküls

Fette und vor allem Kohlenhydrate werden zur Energieversorgung der Zellen genutzt. Sie werden in der Zellatmung zu energiearmen Endprodukten oxidiert. Die dabei freigesetzte Energie wird im Energieträger ATP chemisch gebunden.

AUFGABEN

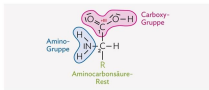
- A1** Beschreiben Sie je eine Situation, bei der Glucose, Glykogen bzw. Fette zur Energieversorgung der Zelle genutzt werden.
- A2** Beurteilen Sie anhand von **B3** die Bedeutung der Kohlenhydrate für das Krankheitsbild Adipositas. Leiten Sie daraus Maßnahmen ab, wie Sie dieser Erkrankung vorbeugen können.
- A3**
 - a) Vergleichen Sie auf zellulärer Ebene die Blutzuckerregulation bei einer gesunden Person mit der eines Diabetikers Typ 2. Erklären Sie die Erkrankung anhand einer Skizze.
 - b) Leiten Sie Maßnahmen ab, wie man der Erkrankung vorbeugen kann. Recherchieren Sie Symptome und Therapiemöglichkeiten.

2.5.3 Essenzielle Baustoffe und Makronährstoffe in der Ernährung

Der molekulare Bau der Aminocarbonsäuren

Für den Aufbau der natürlich vorkommenden Proteine werden verschiedene Aminocarbonsäuren verwendet, sogenannte **proteinogene Aminocarbonsäuren**. Bei diesen befinden sich sowohl die Carboxy- als auch die Amino-Gruppe immer am zentralen, zweiten Kohlenstoff-Atom (α -C2) des Moleküls (**M3**). An diesem zweiten Kohlenstoff-Atom ist neben einem Wasserstoff-Atom auch noch ein variabler Rest R gebunden (**B6**). Im kleinsten Aminocarbonsäure-Molekül, dem Glycin-Molekül, ist der Rest R ein Wasserstoff-Atom. In allen anderen Fällen der proteinogenen Aminocarbonsäuren finden sich am zweiten Kohlenstoff-Atom vier verschiedene Substituenten. Demzufolge besitzen diese Aminocarbonsäure-Moleküle mindestens ein **asymmetrisches Kohlenstoff-Atom**. Sie sind chiral und weisen eine **optische Aktivität** auf.

Nach den Regeln der FISCHER-Projektionsschreibweise (vgl. FM S. 46) wird auch bei den Aminocarbonsäure-Molekülen die längste Kette mit Kohlenstoff-Atomen vertikal angeordnet, wobei das am höchsten oxidierte Kohlenstoff-Atom an der oberen Spitze dieser Kette steht. Bei chiralen Aminocarbonsäure-Molekülen steht die Amino-Gruppe immer links vom asymmetrischen Kohlenstoff-Atom. Es liegt also die **L-Konfiguration** vor (**B6**).



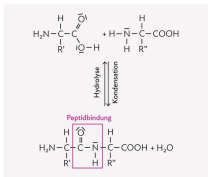
B6 Allgemeine Strukturformel eines L-2-Aminocarbonsäure-Moleküls in FISCHER-Projektion

INFO

Das zweite Kohlenstoff-Atom in einem Aminocarbonsäure-Molekül wird auch als α -Kohlenstoff-Atom bezeichnet. In der Fachsprache wird deshalb oft statt z. B. von L-2-Aminopropansäure von L- α -Aminopropansäure gesprochen.

Bau und Funktion der Proteine

Lebewesen bauen in der Proteinbiosynthese körpereigene Proteine auf, deren Moleküle aus mehr als 100 Aminocarbonsäure-Bausteinen bestehen. Diese werden



B7 Die Peptidbindung entsteht durch eine Kondensationsreaktion zwischen Carboxy- und Amino-Gruppe.

durch **Peptidbindungen** verknüpft (**M4**, vgl. S. 14). Dabei reagiert die Carboxy-Gruppe eines Aminocarbonsäure-Moleküls mit der Amino-Gruppe eines weiteren Aminocarbonsäure-Moleküls in einer Kondensationsreaktion unter Abspaltung eines Wasser-Moleküls (**B7**). Auf diese Weise entstehen in der Proteinbiosynthese lange Peptidketten aus vielen, gezielt miteinander verknüpften Aminocarbonsäure-Bausteinen.

Die Art und Reihenfolge der Aminocarbonsäure-Bausteine ist für jedes Protein-Molekül charakteristisch. Aufgrund intramolekularer Wechselwirkungen kommt es in bestimmten Bereichen zur Faltung oder Aufspiralisierung des Moleküls. Es entstehen ebenso charakteristische räumliche Strukturen, die die Funktion des Proteins maßgeblich bestimmen.

Allgemein unterscheidet man zwischen faserartigen und kugelförmigen Protein-Molekülen (**B8**). Insbesondere faserartige Proteine werden im Körper als **Baustoffe** verwendet. Proteine besitzen jedoch auch viele weitere, sehr unterschiedliche Funktionen, z. B. als Enzyme (vgl. Kap. 3.1).

Bedeutung der Makronährstoffe für eine gesunde Ernährung

Die drei verschiedenen Makronährstoffe sind wichtig für die Ernährung, da sie im Lebewesen die vielfältigsten Funktionen erfüllen. Kohlenhydrate und Fette spielen eine wesentliche Rolle bei der Energieversorgung (vgl. S. 60 f.). Fette schützen außerdem als Unterhautfettgewebe vor Wärmeverlust und werden als Fettpolster an Fußsohlen,

Gruppe	Beispiel-Protein	Funktion	Vorkommen (z.B.)
faserartig	Aktin und Myosin	ermöglichen Bewegung durch Verkürzung der Muskelfasern	Muskeln
	Keratin	verleiht den Zellen Stabilität und Form	Haare, Fingernägel
	Kollagen	verleiht den Zellen Zugfestigkeit und Elastizität	Haut, Knochen, Knorpel, Sehnen
kugelförmig	Antikörper	verklumpen als Bestandteile des Immunsystems in den Körper eingedrungene Krankheitserreger	Blut, Lymphknoten, Gewebe
	Enzyme	ermöglichen und beschleunigen Stoffwechselreaktionen	Verdauungsorgane, Zellen, Zellorganellen
	Hämoglobin	transportiert Sauerstoff in den roten Blutkörperchen	Blut
	Proteinhormone (z.B. Insulin)	vermitteln als Botenstoffe Informationen (z.B. Regulation des Blutzuckerspiegels)	Blut, Hormondrüsen (z.B. Bauchspeicheldrüse)

B8 Beispiele für Vorkommen und Funktion faserartiger bzw. kugelförmiger Proteine

Handballen und Gesäß als Baufett verwendet. Proteine sind vor allem wichtig für den Baustoffwechsel.

Einige Aminocarbonsäuren und Fettsäuren sind **essenziell**. Das heißt sie sind lebensnotwendig, können aber vom Lebewesen nicht selbst hergestellt werden und müssen deshalb mit der Nahrung aufgenommen werden.

Vor allem ungesättigte Fettsäure-Reste (vgl. S. 14, 26) sind essenziell, z. B. Linolsäure- und Linolensäure-Reste. Die aus Pflanzen, Fischen und Walen gewonnenen fetten Öle sind sehr reich an ungesättigten Fettsäure-Resten und gelten daher als gesund. Durch Addition von Wasserstoff-Atomen an die Doppelbindungen können ungesättigte Fettsäure-Reste in gesättigte Fettsäure-Reste umgewandelt werden. Man spricht dann von **gehärteten Fetten**. Gehärtete Fette schmelzen und zersetzen sich erst bei hohen Temperaturen (vgl. S. 14 f.). Sie können daher besonders stark erhitzt werden und eignen sich z. B. zum Braten und Frittieren.

Die meisten Aminocarbonsäure-Bausteine in den natürlich vorkommenden Proteinen gehören zu den L-2-Aminocarbonsäure-Molekülen. Durch Kondensation reagieren diese zu Protein-Molekülen. Proteine erfüllen aufgrund des räumlichen molekularen Baus unterschiedlichste Aufgaben im menschlichen Körper, insbesondere als Baustoffe.

Essenzielle Aminocarbonsäuren bzw. Fettsäuren sind lebensnotwendig, können aber vom Lebewesen nicht selber hergestellt werden und müssen mit der Nahrung aufgenommen werden.

AUFGABEN

A1 Die Moleküle der Aminosäure Serin besitzen als Rest R die folgende Gruppe: $-\text{CH}_2-\text{OH}$. Begründen Sie unter Verwendung der FISCHER-Projektionsformel deren Bezeichnung als L- α -Aminocarbonsäure.

A2 Recherchieren Sie die Strukturformel des Threonin-Moleküls. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Kondensationsreaktion eines Threonin-Moleküls mit einem Serin-Molekül.

A3 Threonin ist eine sogenannte essenzielle Aminosäure. Erklären Sie die Bedeutung dieser Bezeichnung und recherchieren Sie Threoninreiche Nahrungsmittel.

A4 Recherchieren Sie Nahrungsmittel, die reich an essenziellen Fettsäuren sind. Erstellen Sie die

Strukturformel für das Molekül einer essenziellen Fettsäure Ihrer Wahl.

A5 Stellen Sie eine Reaktionsgleichung zur Härtung eines beliebigen Fettes auf. Erklären Sie anhand der molekularen Struktur, dass Fette mit überwiegend gesättigten Fettsäure-Resten in den Molekülen bei Raumtemperatur fest sind und Fette mit überwiegend ungesättigten Fettsäure-Resten in den Molekülen flüssig. (Hilfen unter QR-/Mediencode 06041-13)



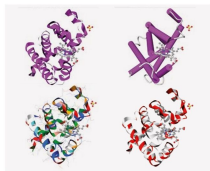
A6 Ein Artikel in einer deutschen Zeitung trägt folgende Überschrift: „Gesättigte Fette in der Ernährung nicht verteufeln“. Beurteilen Sie diese Überschrift vor dem Hintergrund einer Internetrecherche.

2.5.4 Bio-Moleküle am Computer dreidimensional darstellen

Die exakte Molekülgestalt von Bio-Molekülen spielt eine große Rolle, z. B. für die korrekte Funktionsweise von Enzymen. Strukturformeln dieser riesigen Moleküle sind jedoch wenig anschaulich und Molekülbaukästen auch nur bedingt geeignet. Zudem wäre eine sehr gute räumliche Vorstellungskraft notwendig. Datenbanken mit Simulations- und Modellierungssoftware bieten eine übersichtliche Darstellungsform an, berücksichtigen Wechselwirkungen zwischen den Grundbausteinen und ermöglichen es so, wertvolle Erkenntnisse ableiten zu können.

Vorgehen

1. Suchen Sie in einer Protein-Datenbank oder einer Modellierungssoftware (Beispiele unter QR-/Mediencode 06041-14) nach einem Protein, z. B. Myoglobin (B1).
2. Drehen Sie das Molekül und betrachten Sie es aus verschiedenen Winkeln. Bewegen Sie dazu Ihren Finger auf dem Bildschirm in die Richtung, in die Sie das Molekül drehen möchten. Alternativ halten Sie Ihren Mauszeiger gedrückt und bewegen Sie die Maus, um das Molekül zu drehen oder verwenden Sie das Touchpad Ihres Gerätes.
3. Sie können zwischen verschiedenen Darstellungsvarianten wählen. So lassen sich z. B. Molekülstrukturen farbig hervorheben, als Zylinder vereinfachen, die Aminosäure-Seitenketten einblenden bzw. die verschiedenen Aminosäure-Bausteine farbig hervorheben oder aber



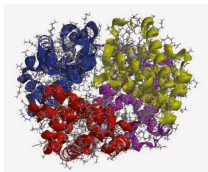
B1 Ein Molekül, vier Darstellungsformen: Bändermodelle des Myoglobin-Moleküls. Mittig im Molekül befindet sich der sogenannte Häm-Komplex, der für die Sauerstoffbindung verantwortlich ist.

polare und unpolare Bereiche der Peptidkette verschiedenfarbig darstellen (B1).

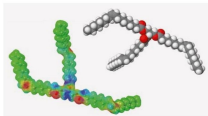
4. Bei Proteinen, die aus mehreren Peptidketten aufgebaut sind, werden die einzelnen Untereinheiten jeweils in einer eigenen Farbe dargestellt, z. B. bei bestimmten Kaliumkanälen in der Zellmembran (B2) oder dem Hämoglobin-Molekül (B3). An den Grenzbereichen zwischen den Untereinheiten lässt sich durch geschicktes Zoomen meist sogar die Art der Wechselwirkungen zwischen den Peptidketten genauer analysieren.



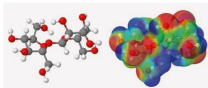
B2 Aufsicht und Seitenansicht eines Kaliumkanals in der Zellmembran eines Bakteriums mit vier (nahezu identischen) Untereinheiten. Im Kanal als violette Punkte dargestellt sind Kalium-Ionen.



B3 Darstellung eines Hämoglobin-Moleküls mit seinen vier Untereinheiten. Die Seitenketten der Aminosäure-Bausteine sind in diesem Beispiel nicht raumfüllend dargestellt.

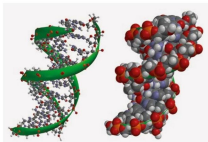


B4 3D-Darstellungen eines Triglycerid-Moleküls mit drei Ölsäure-Resten

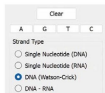


B5 3D-Darstellungen eines Saccharose-Moleküls

- Nicht nur Moleküle von Proteinen, sondern auch von Fetten (**B4**), Kohlenhydraten (**B5**) oder molekularen Informationsspeichern wie DNA oder RNA (**B6**) können dreidimensional simuliert und modelliert werden.
- Bei diesen „kleineren“ Molekülen ist es in der Regel noch möglich, die Elektronenverteilung im Molekül in Form einer Molekülpolaritätskarte (ladungscodierte Elektronendichteoberfläche) berechnen oder anzeigen zu lassen (**B4**, **B5**). Bei größeren Molekülen ist dazu eine sehr große Rechenleistung sowie gegebenenfalls viel Zeit notwendig.



B6 DNA-Doppelhelix-Abschnitt mit 12 Nukleotid-Paaren als Kugel-Stab-Modell sowie in raumfüllender Darstellung. Die Doppelhelix-Struktur wird jeweils grün visualisiert.



- Auswahlmenü eines Programms für Informationsspeicher nach „Maß“
- Einige Programme ermöglichen es sogar, rasch eigene Makromoleküle wie DNA- oder Peptid-Moleküle zu gestalten. Zunächst stellt man die Aminocarbonsäure- bzw. Nukleotidkette zusammen (**B7**). Ein wahrscheinlicher räumlicher Bau der Makromoleküle lässt sich so anhand der im Tool hinterlegten Berechnungen und Modellierungen simulieren.

AUFGABEN

- Suchen Sie in einer Proteindatenbank nach 3D-Darstellungen bzw. Modellen von Proteinen, z. B. Insulin, Myoglobin, Hämoglobin oder einem Ionenkanal. Vergleichen Sie die Proteine anhand der folgenden Unterscheidungsmerkmale in Form einer Tabelle: Anzahl der Untereinheiten, molare Masse.
- Zeichnen Sie mithilfe einer Modellierungssoftware ein Fett-Molekül ihrer Wahl mit drei unterschiedlichen Fettsäure-Resten. Stellen Sie anhand des molekularen Baus Vermutungen über die physika-

lischen Eigenschaften des Fettes an, z. B. Schmelztemperatur und Viskosität. Vergleichen Sie dieses mit einem Fett, das ausschließlich Moleküle mit drei Ölsäureresten ((Z)-Octadec-9-ensäure) enthält (**B6**).

- Recherchieren Sie im Internet zu Einsatzgebieten, Chancen und Risiken der Herstellung künstlicher Bio-Makromoleküle. (Beispiele: Proteindesign mithilfe künstlicher Intelligenz; Sequenzierung und Veränderung tierischer und pflanzlicher Nukleotidsequenzen).

Alles im Blick

1 Zusammensetzung von Lebensmitteln und Bedeutung der Makronährstoffe (vgl. S. 26 – 30, 60 – 63)

Zu den **Makronährstoffen** zählen **Fette**, **Kohlenhydrate** und **Proteine**. Diese dienen u. a. der Energieversorgung der Zellen und müssen deshalb in ausreichender Menge aufgenommen werden. **Mikronährstoffe** werden zwar nur in geringen Mengen benötigt, erfüllen aber die unterschiedlichsten Aufgaben im Körper. Auch sie müssen dem Körper regelmäßig durch Nahrung zugeführt werden. Zu den Mikronährstoffen gehören u. a. **Vitamine** und **Mineralsalze**.

Ferner gibt es weitere Nahrungsbestandteile: **Ballaststoffe** sind unverdauliche Bestandteile vorwiegend pflanzlicher Nahrung, die eine geregelte Verdauung gewährleisten. **Sekundäre Pflanzenstoffe** sind nicht

essenziell, wirken jedoch zumeist gesundheitsfördernd. **Zusatzstoffe** werden Lebensmitteln zugesetzt, um z. B. Geschmack, Aussehen und Haltbarkeit zu optimieren.

Fette und Kohlenhydrate werden zur **Energieversorgung** der Zellen genutzt. Sie werden in der Zellatmung zu energiearmen Endprodukten oxidiert. Bis auf Glycin gehören alle **Aminocarbonsäure**-Bausteine in den natürlich vorkommenden Proteinen zu den **L-2-Aminocarbonsäure**-Molekülen. Durch Kondensation reagieren diese zu **Peptid-Molekülen** und werden als **Baustoffe** in den Zellen verwendet.

2 Lebensmittelanalyse – den Inhaltsstoffen qualitativ und quantitativ auf der Spur (vgl. S. 34 – 37)

Eine **qualitative Analyse** zeigt, ob ein Inhaltsstoff vorhanden ist. Bei einer **halbquantitativen Analyse** wird hingegen auch die ungefähre Konzentration eines Stoffes in einer Lösung bestimmt. Für beide Analyseformen eignen sich sogenannte **Schnelltests** mit Teststreifen. Diese sind sehr einfach durchzuführen und basieren auf dem Prinzip „eintauchen – ablesen“. Die nachzuweisenden Substanzen reagieren mit Nachweisreagenzien auf den Teststreifen, was unterschiedliche Färbungen hervorruft. Die Auswertung erfolgt durch Vergleich mit einer Farbskala.

Die **Dünnschichtchromatografie (DC)** ist ein analytisches Trennverfahren für Stoffgemische, das sowohl qualitative als auch (halb)quantitative Aussagen über die Zusammensetzung von Stoffgemischen ermöglicht.

Die Stofftrennung bei der Chromatografie basiert darauf, dass sich verschiedene Teilchen aufgrund unterschiedlich starker Wechselwirkungen unterschiedlich auf zwei verschiedene Phasen verteilen: **Fließmittel** (mobile Phase) und **stationäre Phase** (DC-Platte). Die Laufstrecke eines Stoffes ist bei konstanten Phasen immer gleich und über den R_F -Wert definiert:

$$R_F = \frac{\text{Laufstrecke Stoff}}{\text{Laufstrecke Fließmittel}}$$

Eine **quantitative Analyse** dient der exakten Bestim-



Dünnschichtchromatografie

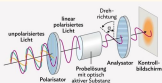
mung der Konzentration eines Stoffes in einer Lösung. Hierunter fallen unter anderem **Säure-Base-Titrationen** und **Redox titrationen** wie die **Iodometrie**. Bei der Iodometrie tropft man Iodmahlösung zu einer Probelösung. Die Moleküle der Probelösung werden oxidiert und die Iod-Moleküle reduziert. Sind keine oxidierbaren Moleküle mehr in der Probelösung, bleiben die Iod-Moleküle als solche bestehen. Als Indikator zugesetzte Stärkelösung färbt sich dann blau.



Iodometrie

3 Optische Aktivität und chirale Moleküle (vgl. S. 42 – 46)

Ein **optisch aktiver** Stoff dreht die Schwingungsebene linear polarisierten Lichts um den **Drehwinkel α** . Um dies zu überprüfen, benötigt man ein **Polarimeter** mit einem **Polarisator** zur Erzeugung linear polarisierten Lichts, sowie einem weiteren, drehbaren Filter, dem **Analysator**:



Um Substanzen vergleichen zu können, wurde der **spezifische Drehwinkel $[\alpha]_D^t$** eingeführt, der sich durch das **Biot-Gesetz** bestimmen lässt:

$$[\alpha]_D^t = \frac{\alpha}{\beta \cdot l}$$

α = gemessener Drehwinkel
 β = Temperatur
 λ = Wellenlänge
 β = Massenkonzentration des gelösten Stoffes
 l = Länge des Probierrohrs

Moleküle, die genau ein **asymmetrisches Atom** (= **Chiralitätszentrum**) mit vier unterschiedlichen Substituenten aufweisen, sind **chiral**.

Es existieren dann immer zwei **Stereoisomere**, die sich wie Bild und Spiegelbild zueinander verhalten. Die Stoffe chiraler Moleküle sind optisch aktiv. Liegen ein oder mehrere **Chiralitätszentren** in einem Molekül vor und verhalten sich die Stereoisomere wie Bild und Spiegelbild zueinander, spricht man von **Enantiomeren**. Verhalten sich die Stereoisomere nicht wie Bild und Spiegelbild, handelt es sich um **Diastereomere**.



Milchsäure-Molekül

Bei der **FISCHER-Projektion** handelt es sich um eine zweidimensionale Darstellung dreidimensionaler, chiraler Moleküle (vgl. S. 46). Bei Enantiomeren lässt sich aus der FISCHER-Projektion die **D-** bzw. **L-Form** ablesen.

4 Kohlenhydrate: Mono-, Di- und Polysaccharide (vgl. S. 50 – 57)

Die Moleküle von **Monosacchariden** können offenkettig und ringförmig vorliegen. In der Ringform werden sie meist als **HAWORTH-Projektion** dargestellt, wobei das chirale C1-Kohlenstoff immer rechts und das Sauerstoff-Atom des Rings immer oben bzw. rechts oben steht. Atome und Atomgruppen, die in der FISCHER-Projektion links stehen, werden in der HAWORTH-Projektion oben gezeichnet („FLOH-Regel“). Das beim Ringschluss entstehende chirale Kohlenstoff-Atom heißt **anomerisches Zentrum**. Dieses wird wie folgt benannt: Steht die Hydroxy-Gruppe am anomeren Zentrum bei der D-Form unten, handelt es sich um das **α -Anomer**, steht sie oben, um das **β -Anomer**. Bei der L-Form ist es umgekehrt. Bei einem Fünfring spricht man von **Furanose-Form**, bei einem Sechsring von **Pyranose-Form**.



Disaccharid-Moleküle bestehen aus zwei Monosaccharid-Bausteinen, die über eine **glykosidische Bindung** miteinander verknüpft sind. Bei **nicht-reduzier-**

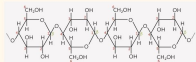
enden Disacchariden

sind in den Molekülen beide anomeren Zentren der Bausteine an der glykosidischen Bindung beteiligt. Ist nur eines der anomeren Zentren beteiligt, liegt ein **reduzierendes Disaccharid** vor. Reduzierende Disaccharide lassen sich wie Monosaccharide über die **Silberspiegel-** und die **FEHLING-Probe** nachweisen.



Maltose-Molekül

In **Polysaccharid**-Molekülen sind viele hundert bis zehntausend Monosaccharid-Bausteine miteinander verknüpft. Vertreter sind z. B. Stärke und Cellulose.



Ausschnitt aus Cellulose-Molekül

Zum Üben und Weiterdenken

- A1** Morphin zählt zu den sogenannten Opiaten und wird als Schmerzmittel bei sehr starken Schmerzen eingesetzt. Kennzeichnen Sie alle asymmetrischen Kohlenstoff-Atome im Morphin-Molekül.



- A2** Um die ausreichende Versorgung mit Vitaminen ranken sich zahlreiche Mythen und Binsenweisheiten.

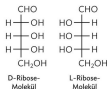
- In der Pausenbrobox eines Mitschülers liegt eine mit Käse umwickelte Karotte. Angeblich können, die in der Karotte enthaltenen Vitamine auf diese Weise besser aufgenommen werden. Beurteilen Sie die Richtigkeit dieses Vorgehens.
- „Heutzutage braucht man Vitaminpräparate, da Obst und Gemüse weniger Vitamine enthalten als früher.“ Überprüfen Sie ggf. anhand einer Recherche den Wahrheitsgehalt dieser Aussage.
- Veganern, Vegetariern und Schwangeren werden Zahncremes empfohlen, die mit Vitamin B12 angereichert sind. Begründen Sie diese Empfehlung. Geben Sie an, weshalb sich Zahncreme für diesen Zweck besonders eignet.

- A3** Drei verschiedene Moleküle mit der Molekülformel $C_3H_6O_2$ enthalten die gleichen funktionellen Gruppen. Sie besitzen alle eine Hydroxy-Gruppe und die FEHLING-Probe verläuft positiv.

- Zeichnen Sie die drei Moleküle in FISCHER-Projektion und benennen Sie diese so genau wie möglich.
- Erläutern Sie unter Verwendung einer beschrifteten Skizze einen Versuch, mit dem sich die drei Moleküle eindeutig unterscheiden lassen.
- Formulieren Sie die beiden Teilgleichungen der FEHLING-Probe für eines der drei Moleküle.

- A4** Honig enthält die beiden Kohlenhydrate Glucose und Fructose. Im Chemieunterricht sollen beide Verbindungen eindeutig nachgewiesen werden. Planen Sie hierfür eine Versuchsdurchführung und geben Sie die zu erwartenden Beobachtungen an.

- A5** Bei D-Ribose handelt es sich um einen natürlichen Zucker, den der Körper eigens aus Glucose herstellt und der u. a. eine bedeutende Rolle bei der Synthese von Adenosintriphosphat (ATP) spielt.

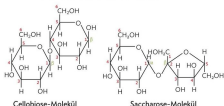


- Zeichnen Sie die D- sowie die L-Ribose in der HAWORTH-Projektion und erklären Sie, welche Informationen die Symbole „ α “ und „ β “ in diesem Zusammenhang enthalten.
 - Ribose wird nicht nur zur Herstellung von ATP benötigt. Recherchieren Sie, in welchem Zusammenhang die Ribose im menschlichen Körper noch von enormer Bedeutung ist.
- A6** Campher ist ein Arzneistoff, der für seine durchblutungsfördernde und schleimlösende Wirkung bekannt ist. Er wird aus dem ätherischen Öl des Kampherbaumes gewonnen.
-
- Erklären Sie die Voraussetzung für optische Aktivität anhand des Campher-Moleküls.
 - 0,75 g Campher werden in 10 mL Trichlormethan gelöst. In einer 10 cm langen Küvette wird ein Drehwinkel α von $+6,645^\circ$ gemessen. Berechnen Sie den spezifischen Drehwinkel $[\alpha]$ für Campher.
 - Zeichnen Sie das Enantiomer des abgebildeten Campher-Moleküls und treffen Sie eine begründete Vorhersage über den spezifischen Drehwinkel $[\alpha]$ einer Lösung, aus den gleichen Konzentrationen beider Enantiomere.
- A7** Zum Kalibrieren eines sogenannten „Zuckerpolariometers“ wurden die Drehwinkel unterschiedlich konzentrierter Saccharoselösungen gemessen:

Massenkonzentration in g/mL	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
Drehwinkel α	0°	22°	32°	64°	88°	94°

- Erstellen Sie mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms aus den Messpunkten ein Diagramm.
- Ermitteln Sie mithilfe des Diagramms die Massenkonzentration von Saccharose in einem Zuckerrübenextrakt, bei dem die Messung einen Drehwinkel von $\alpha = 60^\circ$ ergibt.

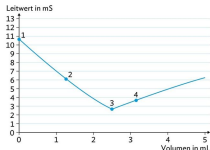
- A8** a) Benennen Sie die Bindung zwischen den Monosaccharid-Bausteinen der folgenden Moleküle so genau wie möglich.



- b) Zeichnen Sie die verschiedenen Monosaccharid-Moleküle, aus denen die Disaccharid-Moleküle aus a) aufgebaut sind, in FISCHER-Projektion.
- c) Mit beiden Disacchariden wurde die Silber Spiegelprobe durchgeführt. Geben Sie jeweils an, ob die Probe positiv oder negativ verläuft, und begründen Sie ihre Entscheidung mithilfe von Fachbegriffen.
- A9** Zum Nachweis von Glucose und Fructose in Apfelsaft wendet die Lehrkraft den Dinitrophenylhydrazin-Test an (vgl. S. 176). Beurteilen Sie dieses Vorgehen und korrigieren Sie es gegebenenfalls.

- A10** Fisch enthält unter anderem die essenzielle Aminosäure L-Leucin (2-Amino-4-methylpentansäure). Diese Aminocarbonsäure ist proteinogen, das heißt, sie dient dem Bau von Proteinen im Körper.

- a) Zeichnen Sie die FISCHER-Projektion von L-Leucin und erklären Sie daran den allgemeinen Aufbau von Aminocarbonsäure-Molekülen.
- b) Das folgende Diagramm zeigt das Ergebnis einer Leitfähigkeitstiteration von L-Leucin mit Natriumhydroxidlösung. Geben Sie die Strukturformeln der Varianten von L-Leucin an, die an den Punkten 3 und 4 vorliegen.



- A11** Formulieren Sie ein allgemeines, vereinfachtes Reaktionsschema für die Reaktion zweier Amino-carbonsäuren zu einem Dipeptid.

- A12** Immer häufiger werden Insekten als „Nahrungsquelle der Zukunft“ für den Menschen beworben.

- a) Vergleichen Sie anhand einer Recherche den Protein- und den Fettgehalt von Haushuhn, Schwein und Mehlwurm.
- b) Informieren Sie sich durch Internetrecherchen über Insekten als Nahrungsquelle und formulieren Sie ein positives und ein negatives ethisches Argument.

- A13** Ein Fett-Molekül besteht aus einem Propan-1,2,3-triol-Baustein, der mit drei Fettsäure-Molekülen verestert wurde.



R', R'', R''' = Kohlenstoff-Atomketten

- a) Erstellen Sie mithilfe der folgenden Fettsäure-Moleküle ein optisch aktives und ein optisch nicht aktives Fett-Molekül und begründen Sie ihre Wahl.
- Tetradecansäure (Myristinsäure)
 - Hexadecansäure (Palmitinsäure)
 - (Z)-Hexadec-9-ensäure (Palmitoleinsäure)
 - Octadecansäure (Stearinsäure)
 - (Z)-Octadec-9-ensäure (Ölsäure)
 - (Z,Z)-Octadeca-9,12-diensäure (Linolsäure)
 - (Z,Z,Z)-Octadeca-9,12,15-triensäure (Linolensäure)
- b) Erläutern Sie für die Fette aus Aufgabe a), welches der beiden die höhere Schmelztemperatur aufweist.
- c) Teilen Sie die in Aufgabe a) aufgeführten Fettsäure-Moleküle in gesättigte und ungesättigte Fettsäure-Moleküle ein.

- A14** Nehmen Sie zu der Aussage „Fette machen dick und sind ungesund!“ kritisch Stellung und treffen Sie, ggf. nach entsprechender Recherche, eine korrekte Aussage zum Thema „Fette und gesunde Ernährung“.

Ziel erreicht?

Verfügen Sie über die in diesem Kapitel geforderten Kompetenzen? Lösen Sie die Aufgaben auf dem Arbeitsblatt unter QR-/Mediencode 06041-15 und bewerten Sie sich mithilfe der Tabelle rechts unten.



06041-15

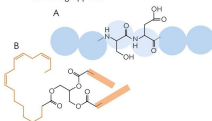
Unter QR-/Mediencode 06041-16 finden Sie außerdem eine Lernanwendung zur digitalen Überprüfung der geforderten Kompetenzen.



06041-16

KOMPETENZ A: Inhaltsstoffe von Nahrungsmitteln vergleichen

- A1** „Bei Makronährstoffen handelt es sich um sehr große Moleküle, die im Verdauungstrakt zunächst in ihre Bestandteile gespalten werden müssen.“
 a) Nehmen Sie zu dieser Aussage kritisch Stellung.
 b) Definieren Sie die Begriffe Makro- und Mikronährstoffe eindeutig.
- A2** a) Benennen Sie alle funktionellen Gruppen der gezeigten Verbindungen und ordnen Sie die Molekülausschnitte begründet einer Makronährstoffgruppe zu.



- b) Fertigen Sie eine ähnliche Darstellung für die Moleküle der dritten Makronährstoffgruppe an und benennen Sie diese.

- A3** Erklären Sie, ob es sich bei dem Vitamin mit nebenstehender Formel um ein wasser- oder fettlösliches Vitamin handelt.



- A4** Geben Sie die Bedeutung der Vitamine für den menschlichen Körper anhand eines selbstgewählten Beispiels an.

KOMPETENZ B: Lebensmittelbestandteile nachweisen und den Gehalt von Inhaltsstoffen bestimmen

- B1** Beschreiben Sie einen Versuch, mit dem ein Lebensmittel auf den Inhaltsstoff Stärke getestet werden kann.

- B2** Mithilfe von Urin-Teststreifen lassen sich zahlreiche Bestandteile des Urins bestimmen.

Test	Ergebnis				
Glucose					
	neg.	+100	+250	++500	+++1000
Bilirubin					
	neg.		+	++	+++
Ketone					
	neg.	+5	+15	++40	+++100
pH					
	5	6	6,5	7	8
Nitrit					
	neg.	trace	pos.		
Ascorbinsäure					
	neg.	+20	++40		

Werten Sie den angegebenen Urin-Teststreifen hinsichtlich des pH-Wertes und des Glucose- sowie Keton-Gehaltes aus.

- B3** Glucose und Fructose lassen sich mittels Dünnschichtchromatografie trennen. Erklären Sie das Funktionsprinzip der Dünnschichtchromatografie anhand dieses Beispiels.

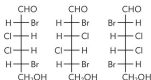
KOMPETENZ C: Optisch aktive Stoffe identifizieren und chirale Moleküle benennen

- C1** Beschreiben Sie anhand einer beschrifteten Skizze ein Messverfahren, mit dessen Hilfe Sie einen Stoff auf optische Aktivität überprüfen können.
- C2** Bei der Messung des Drehwinkels einer optisch aktiven Substanz, muss der Analysator für eine vollkommene Auslöschung des Lichts so eingestellt werden, dass dieser in einem Winkel von 40° im Uhrzeigersinn zum Polarisator steht. In einem Referat wird diese Beobachtung wie folgt erklärt: „Es handelt sich um die D-Form der Verbindung, da das linear polarisierte Licht um 40° nach rechts gedreht wurde.“ Nehmen Sie Stellung zu dieser Interpretation.

- C3** Zeichnen Sie das Arabinose-Molekül in FISCHER-Projektion und in HAWORTH-Projektion (Pyranose-Form). Geben Sie begründet an, ob es sich hier um die D- oder L-Arabinose handelt.



- C4** Charakterisieren Sie die stereochemischen Beziehungen zwischen folgenden Molekülen:



KOMPETENZ D: Ausgewählte Makro- und Mikronährstoffe charakterisieren

- D1** Ordnen Sie die folgenden Kohlenhydrate den Mono-, Di- und Polysacchariden sowie jeweils einer angegebenen chemischen bzw. physiologischen Eigenschaft zu.

Kohlenhydrate	Eigenschaften
Cellulose	wasserlöslich
Fructose	Energiespeicher
Glucose	Ballaststoff
Lactose	wasserunlöslich
Glycogen	Energief Lieferant

- D2** Erklären Sie mithilfe des Struktur-Eigenschafts-Konzepts, weshalb die meisten Kohlenhydrate wasserlöslich sind.
- D3** Beschreiben Sie den Aufbau von L-2-Aminocarbonsäure-Molekülen und leiten Sie daraus den allgemeinen Aufbau eines Protein-Moleküls ab.
- D4** Geben Sie jeweils einen hydrophilen, lipophilen und amphiphilen Nahrungsmittelbestandteil an und beschreiben Sie dessen Bedeutung für den Körper.

KOMPETENZ E: Bedeutung der Kohlenhydrate, Fette und Proteine für die Ernährung beschreiben

- E1** Stellen Sie die Kohlenhydrate, Fette und Proteine tabellarisch gegenüber und vergleichen Sie deren primäre Funktion für den menschlichen Körper.
- E2** Um sich als Veganer gesund zu ernähren, muss eine ausreichende Versorgung mit allen Makronährstoffen gewährleistet werden.
- a) Geben Sie an, an welchen Nährstoffen es mangeln könnte und schlagen Sie Alternativen vor, die einen solchen Nährstoffmangel vermeiden können.
- b) „Als Veganer kann man keine sportlichen Höchstleistungen erzielen.“ Nehmen Sie kritische Stellung zu dieser Aussage.

Vergleichen Sie ihre Antworten mit den Lösungen auf Seite 149 ff. und kreuzen Sie auf dem Arbeitsblatt an.

Kompetenz	ja	nein	zum Nachlesen
A Inhaltsstoffe von Nahrungsmitteln vergleichen	---	---	S. 26 – 28
B Lebensmittelbestandteile nachweisen und den Gehalt von Inhaltsstoffen bestimmen	---	---	S. 34 – 37, 176 – 178
C Optisch aktive Stoffe identifizieren und chirale Moleküle benennen	---	---	S. 42 – 46
D Ausgewählte Makro- und Mikronährstoffe charakterisieren	---	---	S. 26 – 28, 50 – 57, 62 – 63
E Bedeutung der Kohlenhydrate, Fette und Proteine für die Ernährung beschreiben	---	---	S. 60 – 63

Klausuraufgaben

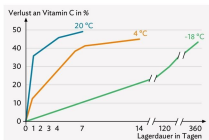
T1 Vitamingehalt in Lebensmitteln

Vitamine zählen zu den Mikronährstoffen und erfüllen im menschlichen Körper wichtige Aufgaben. So wird Vitamin C, genauer L-Ascorbinsäure, unter anderem zum Aufbau des Bindegewebes, der Knochen und der Zähne benötigt. Laut der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e.V. sollte ein erwachsener Mann 110 mg, eine erwachsene Frau 95 mg Vitamin C pro Tag aufnehmen.

AUFGABEN

- A1** Notieren Sie die Formel des Vitamin-C-Moleküls (vgl. S. 25 M5 D) und entscheiden Sie begründet, ob es sich um ein chirales Molekül handelt, und kennzeichnen Sie gegebenenfalls Chiralitätszentren mit einem *.
- A2** Zeichnen Sie ein Isomer des auf S. 25 abgebildeten Ascorbinsäure-Moleküls. Charakterisieren Sie die Isomerieform so genau wie möglich.
- A3** Beschreiben Sie einen Versuch, mit dem der Vitamin-C-Gehalt von Gemüse bestimmt werden kann. Gehen Sie dabei auch auf mögliche Fehlerquellen bei der Durchführung ein.

- A4** Fassen Sie die Kernaussagen des Diagramms in **B1** zusammen und leiten Sie daraus ab, auf welche Weise die Lebensmittel gelagert werden sollten.
- A5** Formulieren Sie eine Hypothese und eine Fragestellung für einen weiteren Faktor, der während der Lagerung Einfluss auf den Vitamin-C-Gehalt von Gemüse nimmt.



B1 Vitamin-C-Verlust bei der Lagerung roher Karotten

T2 Isomaltulose

Die Isomaltulose ($[\alpha]_{D}^{20} = +103^{\circ} \frac{\text{ml}}{\text{g} \cdot \text{dm}}$) ist ein natürlich vorkommendes Disaccharid, das aus α -D-Glucopyranose- und β -D-Fructofuranose-Einheiten besteht, die über eine stabile α -1,6-glykosidische Bindung miteinander verknüpft sind. In Lebensmitteln wird Isomaltulose zum Süßen verwendet. Im Vergleich zur Saccharose wird Isomaltulose langsamer aufgespalten und aufgenommen. Von den Bakterien der Mundflora wird sie nicht wesentlich verdaut und gilt daher als zahnfreundlich.

Lösung	A	B
Drehwinkel α in $^{\circ}$	+4,226	+7,045
Stoffmengenkonzentration c der Lösung in mol/L	0,1	0,1
Länge Probenrohr in mm	200	200

B2 Messergebnisse zu A3

AUFGABEN

- A1** Geben Sie die Strukturformel für α -D-Glucopyranose- und β -D-Fructofuranose an und erläutern Sie die Symbolik in den Namen.

- A2** Zeichnen Sie die HAWORTH-Projektion für das Isomaltulose-Molekül. Leiten Sie aus der Struktur des Moleküls eine Aussage zur reduzierenden Wirkung dieses Zuckers ab.
- A3** Gegeben sind wässrige Lösungen von Isomaltulose und eines weiteren Disaccharids mit gleicher molarer Masse und Stoffmengenkonzentration (Lösungen A und B). Mithilfe eines Polarimeters soll Isomaltulose eindeutig identifiziert werden. Die Messergebnisse zu diesem Versuch sind in **B2** dargestellt. Entscheiden Sie mittels Berechnungen, bei welcher der Proben es sich um Isomaltulose handelt. (Hilfen unter QR-/Mediencode 06041-41)
- A4** Erläutern Sie die Auswirkungen des Ersatzes von Saccharose durch Isomaltulose in Lebensmitteln auf den menschlichen Organismus.



06041-41

T3 Fette und Lactose in Schokolade

Fett-Molekül A	Fett-Molekül B	Fett-Molekül C	Fett-Molekül D
			

B3 Diverse nachgewiesene Fett-Moleküle einer Schokoladensorte (schematisch)

Fettsäuren	
Palmitinsäure	Hexadecansäure
Stearinsäure	Octadecansäure
Ölsäure	(Z)-Octadec-9-ensäure
Linolsäure	(Z,Z)-Octadeca-9,12-diensäure

B4 Fettsäuren diverser nachgewiesener Fettsäure-Reste

In Schokolade finden sich mehr als 300 Inhaltsstoffe. Fette und Kohlenhydrate dienen als Geschmacksträger. Für die Konsistenz sind hauptsächlich Fette verantwortlich. In einer Schokoladensorte wurden verschiedene Fett-Moleküle mit hauptsächlich vier verschiedenen Fettsäure-Resten nachgewiesen (B3, B4). Die meisten Schokoladen enthalten außerdem das Disaccharid β -Lactose.

T4 Gummibärchen

Gummibärchen wird vorgeworfen, wahre „Chemie-Bomben“ zu sein. Sie enthalten u. a. Kohlenhydrate, Proteine, Farbstoffe und Wasser. In Gummibärchen werden Glucose, Fructose und Saccharose als Süßungsmittel eingesetzt. Viele Hersteller verwenden Zuckerersatzstoffe wie Xylit oder Sucralose. Sucralose ist ein künstlicher Süßstoff, dessen Moleküle ähnlich wie die der Saccharose aufgebaut sind. Statt des Glucose-Bausteins ist ein Galactose-Baustein vorhanden, zudem sind einige Hydroxy-Gruppen durch Chlor-Atome ersetzt. Für die Konsistenz der Gummibärchen ist Gelatine verantwortlich. Gelatine ist ein geschmacksneutrales tierisches Protein, das außer Tryptophan alle essenziellen Aminosäuren enthält. Für vegane Varianten werden anstatt dieses tierischen Proteins häufig pflanzliche Gelliermittel auf Basis des Polysaccharids Agarose eingesetzt.

AUFGABEN

- A1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung mit entsprechenden Skelettformeln zur Bildung des Fett-Moleküls D.
- A2 Ordnen Sie die Fette der Moleküle A bis D nach steigender Schmelztemperatur. Begründen Sie Ihre Entscheidung ausführlich und unter Verwendung von Fachsprache.
- A3 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung zur Bildung des β -Lactose-Moleküls aus den Monosaccharid-Bausteinen in HAWORTH-Schreibweise und erklären Sie anhand des Produkts die Bezeichnung der Bindung als 1,4-glykosidisch.
- A4 In einem Versuch wird die FEHLING-Probe mit Lactose durchgeführt. Beschreiben Sie die Versuchsbeobachtung und leiten Sie die beiden Redoxgleichungen her.

AUFGABEN

- A1 Definieren Sie den Begriff Kohlenhydrat und erläutern Sie verschiedene Einteilungsmöglichkeiten für die Vertreter dieser Stoffklasse. Ordnen Sie die im Text erwähnten Kohlenhydrate je einer Gruppe zu.
- A2 Geben Sie die Strukturformeln für das D(+)-Galactose-Molekül in FISCHER-Projektion und für das α -Galactose-Molekül in Pyranose-Form als HAWORTH-Projektion an. Erläutern Sie die Symbolik in den Namen.
- A3 Beschreiben Sie Nachweismöglichkeiten der reduzierenden Eigenschaften eines Kohlenhydrats. Begründen Sie, dass Galactose ein reduzierender Zucker ist. Formulieren Sie eine Reaktionsgleichung.
- A4 Entwickeln Sie ein Experiment zur Unterscheidung von herkömmlichen und veganen Gummibärchen und beschreiben Sie die Durchführung.

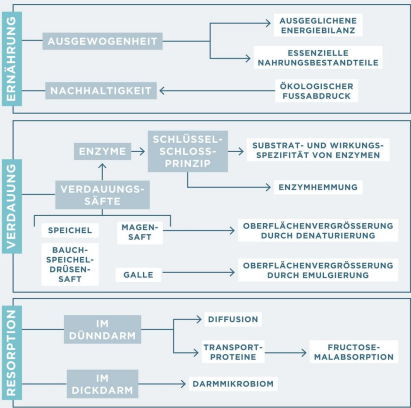
3

Lebensmittelchemie – Verdauung und Ernährung





Arbeitsblatt unter
QR-/Mediencode
06041-17



Startklar?

Schätzen Sie Ihre Kompetenz in den Bereichen A bis D ein und prüfen Sie sich anhand der entsprechenden Aufgaben (Arbeitsblatt unter QR-/Mediencode 06041-18).



06041-18

Unter QR-/Mediencode 06041-19 finden Sie außerdem eine Lernanwendung zur digitalen Überprüfung der geforderten Kompetenzen.

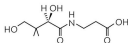


06041-19

Kompetenz	sehr gut	gut	schwierig
A Die Inhaltsstoffe von Nahrungsmitteln nennen und ihre Bedeutung und Eigenschaften beschreiben	---	---	---
B Kohlenhydrate nachweisen	---	---	---
C Die Verdauung und die Funktion von Enzymen beschreiben	---	---	---
D Das Prinzip der Oberflächenvergrößerung erläutern	---	---	---

KOMPETENZ A: Die Inhaltsstoffe von Nahrungsmitteln nennen und ihre Bedeutung und Eigenschaften beschreiben

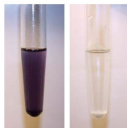
- A1** Erstellen Sie ein übersichtliches Schema zu den unterschiedlichen Bestandteilen unserer Ernährung.
- A2** Entscheiden Sie, ob die folgenden Aussagen richtig oder falsch sind. Korrigieren Sie falsche Aussagen.
- Kohlenhydrate sind Makronährstoffe und kommen z. B. in Getreideprodukten vor.
 - Fette sind ungesund und sollten möglichst gar nicht verzehrt werden.
 - Fette werden fachsprachlich auch als Fettsäuren bezeichnet.
 - Makronährstoffe dienen ausschließlich der Energiebereitstellung.
 - Mikronährstoffe sind weniger wichtig als Makronährstoffe.
- A3** Die Moleküle von Vitamin B5 (Pantothensäure) weisen die folgende Strukturformel auf:



Schlagen Sie ein geeignetes Lösemittel für das Vitamin vor und begründen Sie Ihre Aussage.

KOMPETENZ B: Kohlenhydrate nachweisen

- B1** Nennen Sie drei Nachweismethoden, mit denen Glucose nachgewiesen werden kann. Geben Sie jeweils an, ob die Nachweise auch mit Fructose positiv verlaufen.
- B2** Geben Sie an, welche der folgenden beiden Abbildungen einen positiven und welche einen negativen Stärke-Nachweis zeigt. Erklären Sie den Nachweis mithilfe einer Skizze auf Teilchenebene.



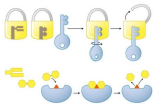
- B3** Erstellen Sie mithilfe der folgenden Wörter einen Text zur Durchführung der FEHLING-Probe: Teelicht, FEHLING-I-Lösung, FEHLING-II-Lösung, positiv, Stoffprobe, orange-rot, Tropfen

KOMPETENZ C: Die Verdauung und die Funktion von Enzymen beschreiben

- C1** Unter Verdauungssystem versteht man die Gesamtheit aller Organe, die an der Verdauung beteiligt sind. Übernehmen Sie das nachfolgende Fließdiagramm in Ihre Unterlagen und vervollständigen Sie es, indem Sie die folgenden Begriffe sinnvoll einordnen (Mehrfachnennungen möglich): Rückgewinnung von Wasser und Mineralsalzen, Blut, Bauchspeicheldrüse, Fettabbau, Maltase, Proteasen, Leber, Resorption, Bakterien, Lipasen, Proteinabbau, Amylase, Kohlenhydratabbau, Gallensaft, Salzsäure, Mundspeicheldrüsen, Lymphe, Pepsin, Proteinendernaturierung



- C2** Geben Sie an, welches Prinzip mit der folgenden Abbildung verdeutlicht werden soll und erklären Sie das Prinzip anhand der Darstellung.



- C3** „Verdauung kann als Synonym für Resorption verwendet werden.“ Beurteilen Sie die Gültigkeit dieser Aussage.

KOMPETENZ D: Das Prinzip der Oberflächenvergrößerung erläutern

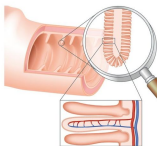
- D1** Frotteehandtücher können mehr Feuchtigkeit aufnehmen als einfache, glatte Handtücher. Erklären Sie diese Beobachtung mithilfe einer Skizze.



- D2** Folgende Abbildung zeigt den Aufbau der Dünndarmwand.

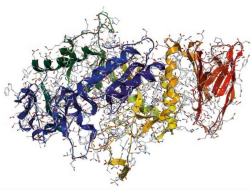
- a) Beschriften Sie die Abbildung auf dem Arbeitsblatt.

- b) Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen Aufgabe D1 und dem Aufbau der Dünndarmwand.



Vergleichen Sie Ihre Antworten mit den Lösungen auf den Seiten 151 ff. und geben Sie sich die entsprechende Punktzahl.

Kompetenz	sehr gut	gut	schwierig	zum Nachlesen
A Die Inhaltsstoffe von Nahrungsmitteln nennen und ihre Bedeutung und Eigenschaften beschreiben	14 – 11	10 – 8	7 – 4	S. 26 – 28, 50 – 57, 60 – 63
B Kohlenhydrate nachweisen	10 – 13	9 – 6	5 – 4	S. 52, 55, 180 – 182
C Die Verdauung und die Funktion von Enzymen beschreiben	19 – 16	15 – 10	9 – 6	Biologie-Unterlagen
D Das Prinzip der Oberflächenvergrößerung erläutern	10 – 8	7 – 5	4 – 3	Biologie-Unterlagen



3.1 Enzyme in der Verdauung

In einer pharmazeutischen Fabrik werden viele Arbeitsschritte zur Herstellung eines Medikaments durch Roboter erledigt. Auch unser Körper verfügt über „molekulare Roboter“. Ein Beispiel hierfür sind die Verdauungsenzyme.

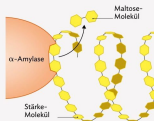
3.1.1 Versuche und Material

V Verdauung im Mund



Die Verdauung beginnt bereits im Mund. Dort wird die Nahrung durch das Kauen physikalisch zerkleinert. Welchen Einfluss hat der Mundspeichel auf die Nahrungsbestandteile?

V1 Stellen Sie mithilfe von **B1** eine Hypothese zur Eingangsfrage auf und planen Sie unter Beachtung der Sicherheit ein Experiment, um die Hypothese zu überprüfen.



B1 Stärkeabbau durch die Speichel-Amylase (schematisch)

Führen Sie das Experiment nach Rücksprache mit der Lehrkraft durch. (Hilfen unter QR-/Mediencode 06041-20)



06041-20

AUSWERTUNG

- Geben Sie an, ob Ihre Hypothese gestützt oder falsifiziert wurde.
- Die Spaltung der Stärke-Moleküle zu Maltose-Molekülen erfolgt nach dem gleichen Reaktionstyp, wie die weitere Spaltung der Maltose-Moleküle in die entsprechenden Monosaccharid-Moleküle (vgl. S. 55). Stellen Sie eine Reaktionsgleichung für diese Reaktion auf und benennen Sie den Reaktionstyp.
- Die Spaltung der Maltose-Moleküle erfolgt im Darm mithilfe des Enzyms Maltase. Nennen Sie zwei weitere Disaccharid-Moleküle und erklären Sie unter Verwendung von Fachbegriffen, warum diese nicht von dem Enzym Maltase in ihre Monosaccharid-Bausteine gespalten werden können. (Hilfen unter QR-/Mediencode 06041-21)



06041-21

ENTSORGUNG: A

V Wirkungsweise von Lactase

Gefährdungsbeurteilung
schülerabhängig

Lactose (Milchzucker) kann von vielen Menschen nur während des Kleinkindalters verdaut werden und führt bei vielen Erwachsenen u. a. zu Blähungen und Durchfall. Welche Rolle spielt das Enzym Lactase bei der Verdauung?

V2 Lactose ist ein Disaccharid, dessen Moleküle aus den Monosaccharid-Bausteinen Glucose und Galactose aufgebaut sind (vgl. S. 54). Stellen Sie eine Hypothese zur Wirkungsweise des Enzyms Lactase auf und planen Sie ein Experiment, um Ihre Hypothese zu überprüfen. Berücksichtigen Sie Vergleichsexperimente in der Planung und führen Sie die geplanten Experimente sicherheitsgerecht und nach Rücksprache mit der Lehrkraft durch.

Folgende Materialien stehen zur Verfügung: Lactose, Galactose, Glucose, Lactase-Tabletten, GOD-Teststreifen, Wasser, Bechergläser, Spatel

AUFGABEN

- Gehen Sie in Ihrem Protokoll auf die Durchführung und die Beobachtungen ein und geben Sie an, ob Ihre Hypothese gestützt oder falsifiziert wurde.
- Erstellen Sie eine Reaktionsgleichung zur Spaltung des Lactose-Moleküls bei der Verdauung. Benennen Sie den Reaktionstyp.
- Beschreiben Sie Unterschiede im Verdauungstrakt eines Menschen mit und eines Menschen ohne Lactose-Unverträglichkeit.
- Während des Herstellungsprozesses lactosefreier Milchprodukte wird das Enzym Lactase zugesetzt. Erklären Sie, weshalb diese Produkte in der Regel süßer schmecken als entsprechende Vergleichsprodukte.

ENTSORGUNG: schülerabhängig

V Substratspezifität



Das Bakterium *Helicobacter pylori* befällt die Magenschleimhaut und kann dort lebensbedrohliche Geschwüre verursachen. Der Zerstörung durch den sauren Magensaft entgeht dieser Erreger, indem er das Enzym Urease herstellt, das den im Magen vorhandenen Harnstoff verarbeitet. Wie funktioniert dieses Überlebensprinzip? Und können auch andere Substrate als Harnstoff von dem Enzym Urease gespalten werden?

V3 Geben Sie in ein Reagenzglas 5 mL Harnstofflösung ($w = 2\%$) und einige Tropfen Phenolphthaleinlösung ($w = 0,1\%$). Stellen Sie in einem zweiten Reagenzglas eine Ureaselösung her, indem Sie eine Mikrospatelspitze pulverförmige Urease in 1 mL Wasser lösen. Geben Sie nun die Harnstofflösung zur Ureaselösung.

V4 Wiederholen Sie **V3** und geben Sie statt der Harnstofflösung eine Lösung von N-Methylharnstoff ($w = 2\%$) hinzu.

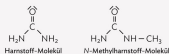


B2 Farben einer Phenolphthaleinlösung in Abhängigkeit vom pH-Wert

AUSWERTUNG

- Erklären Sie anhand der Beobachtungen aus **V3** und mithilfe der Abbildung **B2**, wie die Urease-Reaktion *Helicobacter pylori* das Überleben im sauren Magensaft ermöglicht.
- Stellen Sie anhand des Molekülbaus von Harnstoff und N-Methylharnstoff (**B3**) eine begründete Vermutung über das unterschiedliche Reaktionsverhalten in **V3** und **V4** an.
- Formulieren Sie eine Definition des Begriffs Substratspezifität.

ENTSORGUNG: A, G3



B3 Halbstrukturformeln des Harnstoff- und des N-Methylharnstoff-Moleküls

3.1.2 Funktionsweise von Enzymen

Enzyme sind Biokatalysatoren

Enzyme sind meist Proteine mit katalytischen Eigenschaften. Die Merkmale eines Katalysators sind bereits aus der Mittelstufe bekannt (vgl. S. 10). Ein Katalysator

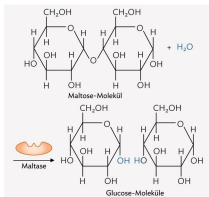
- beschleunigt eine bestimmte chemische Reaktion durch Herabsetzen der Aktivierungsenergie.
- geht unverändert aus der Reaktion hervor, wird also nicht verbraucht.
- ist bereits in geringen Mengen wirksam.

Enzyme spielen im Körper an verschiedensten Stellen eine wichtige Rolle, u. a. bei der Verdauung (vgl. Exkurs). Sie sind in der Lage, die Aktivierungsenergie bestimmter Reaktionen soweit zu senken, dass die Reaktionen bei Körpertemperatur ablaufen.

Beispielsweise katalysiert das Enzym Amylase im Mundspeichel den Abbau von Stärke zu süß schmeckender Maltose (VI). Maltose wiederum wird im Darm mithilfe des Enzyms Maltase weiter zu Glucose abgebaut (B1). Für beide Reaktionen wird als weiteres Edukt Wasser benötigt. Man spricht daher von **enzymatischer Hydrolyse**. Auch andere Nahrungsbestandteile, wie Fett-, Protein- und andere Kohlenhydrat-Moleküle, werden durch enzymatische Hydrolyse gespalten (vgl. S. 86 f.).

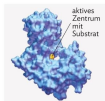
Wirkmechanismus von Enzymen

Relevant für die Wirkung eines Proteins als Enzym ist seine Tertiärstruktur. Durch die dreidimensionale Faltung entsteht eine charakteristische „Tasche“, das sogenannte **aktive Zentrum** (B2).



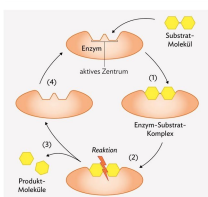
B1 Hydrolyse von Maltose-Molekülen zu Glucose-Molekülen durch das Enzym Maltase

Die Edukte einer enzymkatalysierten Reaktion nennt man **Substrate**. Sie wechselwirken z.B. über LONDON-Dispersionswechselwirkungen oder Wasserstoffbrücken mit dem aktiven Zentrum des Enzyms. Befindet sich das Substrat im aktiven Zentrum, spricht man vom **Enzym-Substrat-Komplex**. Nur bestimmte Substrate passen in das aktive Zentrum eines Enzyms – so wie nur ein bestimmter Schlüssel in ein Schloss passt. Man spricht daher vom **Schlüssel-Schloss-Prinzip** (vgl. Info). Eine enzymkatalysierte Reaktion lässt sich in drei Phasen einteilen (B3): (1) die Bindung von einem oder mehreren Substrat-Molekülen an das aktive Zentrum, (2) die eigentliche chemische Reaktion, (3) die Freisetzung eines oder mehrerer Produkt-Moleküle. Das Enzym ist anschließend wieder für weitere Reaktionen verfügbar (4).



B2 Schematische Darstellung eines Enzyms

Enzyme katalysieren z. B. die Spaltung vieler Nährstoff-Moleküle durch enzymatische Hydrolyse. Die Bindung von Substraten an Enzyme kann mit dem Schlüssel-Schloss-Prinzip beschrieben werden.



B3 Modellhafte Darstellung des Wirkmechanismus eines Enzyms

INFO

Die Passform eines Enzyms und damit seine Funktion ergibt sich oft erst durch das gebundene Substrat. Man spricht von einer induzierten Passung, engl. **induced fit**. Vergleichbar ist dies modellhaft mit einem modernen Zylinderschloss: Erst die Zacken des Schlüssels drücken die Sperrstifte in ihre richtige Position, sodass das Schloss geöffnet werden kann.



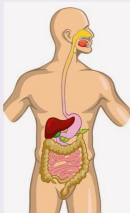
E Das Verdauungssystem des Menschen

In der **Mundhöhle** wird die Nahrung durch das Mahlen der Zähne physikalisch zerkleinert und der Speichel aus den Mundspeicheldrüsen mithilfe der Zunge untergemischt. Der Speichel enthält Enzyme, die die Spaltung von Stärke- und Fett-Molekülen katalysieren. Außerdem entsteht so ein rutschfähiger Nahrungsbrei, der durch die peristaltischen Bewegungen der Speiseröhre in den Magen gelangt.

Im **Magen** herrschen saure Bedingungen. Im nüchternen Zustand beträgt der pH-Wert etwa 1, bei vollem Magen 2 bis 4. Im Magen wird der Nahrungsbrei einerseits durch die saure Umgebung von Bakterien und Viren desinfiziert und andererseits durch Pepsin vorverdaut. Das Enzym spaltet Protein-Moleküle in Aminosäure-Moleküle.

Der Hauptteil der Verdauung spielt sich im **Dünndarm** ab. Die-

ser ist 4 bis 5 Meter lang und weist durch seine Falten, Zotten und Mikrovilli der Darmwandzellen eine große Oberfläche auf (vgl. S. 88). Die für die Verdauung nötigen En-



B-4 Das Verdauungssystem des Menschen

zyme stammen aus der Bauchspeicheldrüse, der Dünndarmwand und der Leber. Im vorderen Bereich des Dünndarms werden die Nährstoff-Moleküle in ihre Grundbausteine gespalten und dann in die das Darmsystem umgebenden Blutgefäße aufgenommen. Im hinteren Bereich des Dünndarms werden die Ionen der Mineralsalze aufgenommen. Infolgedessen wird dem Nahrungsbrei Wasser entzogen und es kommt zu einer Eindickung des Kotes.

Dieser Prozess wird im **Dickdarm** (1,5 Meter) fortgesetzt, wo mithilfe von symbiotischen Darmbakterien auch die Vitamine aufgeschlossen werden und ins Blut gelangen. Im Dickdarm wird der Kot geformt, der aus Wasser, Ballaststoffen und abgeschürften Darmwandzellen besteht. Die braune Farbe des Kots stammt von den Abbauprodukten des roten Blutfarbstoffs Hämoglobin.

AUFGABEN

- A1** Fertigen Sie ein Diagramm des Energieverlaufs einer exothermen Reaktion an. Zeichnen Sie anschließend in dasselbe Diagramm den Energieverlauf für die katalysierte Reaktion ein.
- A2** Stellen Sie eine Hypothese auf, welches Enzym Saccharose-Moleküle in Monosaccharid-Bausteine spaltet. Formulieren Sie eine entsprechende Reaktionsgleichung.
- A3** Protein- und Fett-Moleküle werden enzymatisch durch Hydrolyse abgebaut. Stellen Sie die Reaktionsgleichung der Hydrolyse eines beliebigen Fett-Moleküls auf.
- A4** Exkurs: Überlegen Sie, wie Enzyme außerhalb des Körpers für den Menschen im Alltag nützlich sein können.

3.1.3 Spezifität und Hemmung von Enzymen

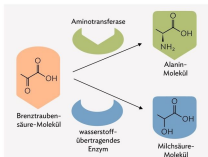
Substratspezifität

Aus dem Schlüssel-Schloss-Prinzip geht hervor, dass Enzyme meist nur mit einer bestimmten Art von Substrat-Molekülen wechselwirken und diese umsetzen können. So katalysiert das Enzym Maltase die Hydrolyse von Maltose (Malzzucker), nicht jedoch von Saccharose (Haushaltszucker) oder Lactose (Milchzucker). Jedes Substrat benötigt also sein eigenes spezifisches Enzym. Fehlt dieses im Körper, so kann das entsprechende Substrat-Molekül nicht abgebaut werden. Viele erwachsene Menschen können beispielsweise Lactose nicht verdauen, da ihnen das Enzym Lactase fehlt (V2). Sie haben eine **Lactose-Unverträglichkeit** (vgl. Kap. 4.2).

Die Eigenschaft von Enzymen, nur bestimmte Substrat-Moleküle umzusetzen, nennt man **Substratspezifität**. Im Labor lässt sich die Substratspezifität anhand von Urease zeigen (V4). Das Enzym setzt Harnstoff-Moleküle zu Ammoniak-Molekülen um. Mit den molekular ähnlich gebauten N-Methylharnstoff-Molekülen findet dagegen keine Reaktion statt.

Wirkungsspezifität

Während ein Enzym meist nur bestimmte Substrate umsetzt, können verschiedene Enzyme mit einem Substrat unterschiedliche Reaktionen durchführen. Dabei bewirken kleine Unterschiede in den aktiven Zentren der Enzyme zwar die Bindung desselben Substrats aber unterschiedliche Reaktionen. Beispielsweise wird Brenztraubensäure mit einer Aminotransferase zu Alanin und mit einem wasserstoffübertragenden Enzym zu Milchsäure umgesetzt (B6). Die Eigenschaft von Enzymen, aus vielen möglichen Reaktionen eine bestimmte zu katalysieren, nennt man **Wirkungsspezifität**.

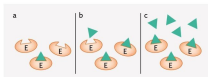


B6 Wirkungsspezifität verschiedener Enzyme mit demselben Substrat

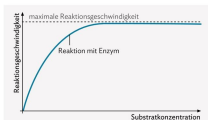
Reaktionsgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit, mit der ein Enzym eine bestimmte Reaktion katalysiert, wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. So spielen u.a. Temperatur, pH-Wert und Substratkonzentration eine Rolle.

Sind genügend Enzyme in einer Zelle vorhanden, so steigt die Reaktionsgeschwindigkeit zunächst proportional zur Substratkonzentration an. Sind alle aktiven Zentren der Enzyme besetzt, so kann die Reaktionsgeschwindigkeit nicht weiter gesteigert werden, indem noch mehr Substrat hinzugefügt wird (B7). Die maximale Reaktionsgeschwindigkeit ist erreicht (B8). Diese kann durch sogenannte **Hemmstoffe** beeinflusst werden.



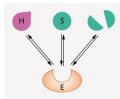
B7 Je nach Substratkonzentration sind die aktiven Zentren der Enzyme teilweise frei (a, b) oder vollständig besetzt (c).



B8 Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Substratkonzentration

Kompetitive Hemmung

Die Reaktionsgeschwindigkeit des Enzyms Urease sinkt, wenn man unter sonst gleichen Bedingungen N-Methylharnstoff zum Reaktionsansatz hinzugibt (V4). Aufgrund der starken Strukturähnlichkeit von N-Methylharnstoff und dem Urease-Substrat Harnstoff (vgl. S. 79 B3), kommt es zu einer Konkurrenzsituation, in der beide Moleküle an die aktiven Zentren der Enzyme binden. Dabei wird N-Methylharnstoff aber nicht vom Enzym umgesetzt und somit das aktive Zentrum für das eigentliche Substrat Harnstoff blockiert (B9). Man spricht von einer **kompetitiven Hemmung** des Enzyms.



B9 Kompetitive Hemmung: Der Hemmstoff (H) bindet wie das Substrat (S) an das aktive Zentrum des Enzyms (E), wird aber nicht umgesetzt.

Durch eine Erhöhung der Substratkonzentration lässt sich der Hemmstoff wieder von dem Enzym verdrängen. Die kompetitive Hemmung ist also reversibel.

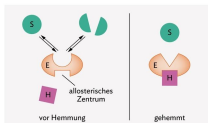
Die Wirkung vieler Medikamente beruht auf kompetitiver Hemmung. Beispielsweise kann bei Diabetikern der Glucosespiegel

im Blut mithilfe des Wirkstoffs Acarbose gesenkt werden (**B11**). Acarbose wirkt hier als Hemmstoff und verdrängt die Substrate der zuckerabbauenden Glucosidasen (Enzyme) im Darm, sodass weniger Glucose ins Blut gelangt. Es gibt auch Wirkstoffe, z. B. das Schmerzmittel ASS (vgl. S. 136), die als Hemmstoffe so fest an das aktive Zentrum eines Enzyms binden, dass sie nicht mehr von den Substraten verdrängt werden können. Hier liegt keine kompetitive Hemmung vor, denn die Hemmung ist irreversibel.

Allosterische Hemmung

Bei manchen Enzymen existiert zusätzlich zum aktiven Zentrum eine weitere Bindestelle, das sog. **allosterische Zentrum** (griech. *allos*: anders; *stero*: Ort). Bindet hier ein Hemmstoff, so verändert sich die Form des aktiven Zentrums. Substrate können nun nicht mehr gebunden werden (**B10**). Diese Form der Hemmung wird **allosterische Hemmung** genannt. Auch diese Hemmung ist reversibel.

Ein Beispiel für eine allosterische Hemmung ist die Regulierung der ATP-Produktion bei der Zellatmung (vgl. S. 60). Liegt ausreichend ATP in einer Zelle vor, wirkt das



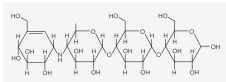
B10 Allosterische Hemmung: Der Hemmstoff (H) bindet an das allosterische Zentrum und verändert dadurch die Form des aktiven Zentrums, sodass das Substrat (S) nicht mehr binden kann.

ATP selbst als allosterischer Hemmstoff für ein wichtiges Enzym in diesem Prozess. Der Prozess kommt also zum Erliegen. Erst wenn das ATP in der Zelle weitgehend abgebaut wurde, sind die Enzyme wieder frei und es kann wieder neues ATP hergestellt werden.

Enzyme sind meist substrat- und wirkungsspezifisch. Bei der kompetitiven Hemmung eines Enzyms blockiert ein Hemmstoff das aktive Zentrum. Bei der allosterischen Hemmung bindet der Hemmstoff an einer anderen Stelle des Enzyms und beeinflusst so die Form des aktiven Zentrums und die Substratbindung.

AUFGABEN

- A1** Stellen Sie Hypothesen zu den Substraten und den entsprechenden Reaktionen der folgenden Enzyme auf: Lactat-Dehydrogenase, Acetylcholin-Esterase, Retinal-Isomerase. Erklären Sie in diesem Zusammenhang die Begriffe Substrat- und Wirkungsspezifität.
- A2** Erstellen Sie mit Alltagsgegenständen (z. B. Schwamm, Pappe) ein Funktionsmodell der allosterischen Hemmung.
- A3** Begründen Sie, weshalb es wichtig ist, dass die Enzymhemmung reversibel ist.
- A4** Begründen Sie anhand der Formel in **B11**, dass Acarbose-Moleküle als kompetitive Hemmstoffe der Glucosidasen im Darm wirken. Recherchieren Sie dazu Substrate der Glucosidasen.



B11 HAWORTH-Projektionsformel des Acarbose-Moleküls

- A5** Betrachten Sie die 3D-Darstellung des aktiven Zentrums der Urease unter QR-/Mediencode 06041-22 (vgl. EK S. 64 f.). Beschreiben Sie die Wechselwirkungen zwischen dem Harnstoff-Molekül (= Urea-Molekül) und den Amino-carbonsäure-Bausteinen des Enzyms sowie den vorliegenden Metall-Ionen.





3.2 Verdauung und Resorption

Die Nahrung muss im Körper zunächst verdaut und die Produkte anschließend in Blut und Lymphe aufgenommen werden. Welche Tricks wendet der Körper dabei an und welche Rolle spielt die Löslichkeit der Nahrungsbestandteile?

3.2.1 Versuche und Material

V Verdauungssäfte: Magensaft und Galle



Magensaft spielt bei der Verdauung von Proteinen eine wichtige Rolle. Er besteht vor allem aus salzsaurer Lösung („Magensäure“). Galle ist eine Flüssigkeit, die in der Leber produziert und in den Dünndarm abgegeben wird. Sie enthält gelöste Salze der Gallensäuren, die für die Fettverdauung wichtig sind.

Planen Sie Experimente, mit denen Sie die Funktionen von Magensaft und Galle als Verdauungssäfte untersuchen können. Ihnen stehen folgende Materialien zur Verfügung:

V1 Eiklar, Wasser, salzsaurer Lösung ($c = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$), Reagenzgläser, Pipetten

V2 Fettiges Speiseöl (z. B. Sonnenblumenöl), Wasser, Rindergallenlösung, Seifenlösung, Reagenzgläser mit Gummistopfen, Pipetten

Führen Sie die Experimente nach Rücksprache mit der Lehrkraft durch.

AUSWERTUNG

- Stellen Sie eine Hypothese auf, wie sich die molekulare Struktur der Proteine im Eiklar bei Zugabe von salzsaurer Lösung verändert. Fertigen Sie dazu eine Skizze an.
- Beschreiben Sie, wie sich die Gesamtoberfläche eines Wollknäuels verändert, wenn man den Wollfaden abwickelt. Stellen Sie einen Bezug zu V1 her.
- Galle enthält Gallensäure-Anionen, die als natürliche Tenside wirken. Erklären Sie die Beobachtungen aus V2 unter Verwendung der folgenden Fachbegriffe und unter Berücksichtigung von Stoff- und Teilchenebene: polar, unpolar, hydrophil, hydrophob, amphiphil, Micelle.
- Beschreiben Sie, welchen Vorteil die Oberflächenvergrößerung von Nahrungsbestandteilen bei der Verdauung hat.

ENTSORGUNG: G1, A

V Karotten „richtig“ zubereiten?



Karotten enthalten u.a. Vitamin C und Carotinoide wie z. B. β -Carotin. Dieser rötlich-orange Farbstoff dient im Körper als Edukt für die Synthese von Vitamin A und die Bildung der Sehpigmente in den Augen. Wie macht man dem Körper die Vitamine aus einer Karotte verfügbar?

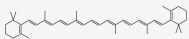
V3 Raspeln Sie eine Karotte und geben Sie jeweils einige Stückchen in zwei kleine Erlenmeyerkolben. Geben Sie in den einen Kolben etwas Wasser und in den anderen etwas farbloses Öl. Erhitzen Sie beide Ansätze unter Rühren auf einer Heizplatte. Lassen Sie die Lösungen abkühlen, filtrieren Sie diese und prüfen die Lösungen mit Vitamin-C-Teststreifen.

V4 Raspeln Sie eine Karotte möglichst klein in einen Erlenmeyerkolben. Geben Sie ein wenig farbloses Öl zu und lassen Sie das Gemisch für einige Stunden stehen. Rühren Sie zwischendurch um. Filtrieren Sie das Öl ab und prüfen Sie es mit einem Vitamin-C-Teststreifen.

AUSWERTUNG

- Vergleichen Sie die Färbung der Lösemittel sowie die Ergebnisse der Vitamin-C-Teststreifen aus **V3** und **V4** miteinander.
- Leiten Sie die unterschiedliche Löslichkeit von Vitamin C und β -Carotin anhand der Formeln (**B1** bzw. S. 70 **A3**) ab.
- Diskutieren Sie anhand von **V3** und **V4**, dass eine ausgewogene Ernährung auch verschiedene Zubereitungsarten beinhalten sollte, um eine optimale Versorgung des Körpers mit Vitaminen zu gewährleisten. Hinweis: Vitamin C wird bei Temperaturen über 100 °C zum Teil zerstört.

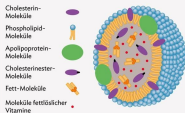
ENTSORGUNG: R (Kann bei Zubereitung außerhalb des Chemiesaals verzehrt werden.)



B1 Skelettformel des β -Carotin-Moleküls

M Resorption und Transport fettlöslicher Vitamine und Fette

M5 Im Gegensatz zu wasserlöslichen Vitaminen können fettlösliche Vitamine im Darm nicht einfach resorbiert werden. Sie müssen dafür zunächst in Micellen aufgenommen werden. Dies erfolgt mithilfe von Gallensäure-Anionen (**V2**). Die Micellen können mit den Zellmembranen der Dünndarmzellen wechselwirken und so die enthaltenen Moleküle in die Zellen einschleusen.



B2 Vereinfachte Darstellung eines Plasma-Lipoprotein-Partikels auf Teilchenebene

In den Dünndarmzellen werden die zuvor enzymatisch gespaltenen Fett-Moleküle wieder zusammengesetzt und gemeinsam mit den Vitamin-Molekülen erneut in micellenartige Strukturen verpackt (**B2**). Diese Plasma-Lipoprotein-Partikel können in Blut und Lymphe übergehen und die Fette und Vitamine weiter zu den Zielzellen transportieren.

AUSWERTUNG

- Die Hülle der Plasma-Lipoprotein-Partikel besteht zu großen Teilen aus Phospholipid-Molekülen. Stellen Sie eine Vermutung zum allgemeinen Aufbau eines Phospholipid-Moleküls auf und erklären Sie den Begriff „amphiphil“ am Beispiel der Phospholipide.
- Begründen Sie mit Fachbegriffen, dass die Moleküle fettlöslicher Vitamine für den Transport in Blut und Lymphe in Plasma-Lipoprotein-Partikel verpackt werden müssen.
- Erstellen Sie eine „molekulare Erlebnisreise“ aus Sicht eines unpolaren Vitamin-Moleküls bis zu seiner Verwertung in einer menschlichen Zelle.

3.2.2 Die Bedeutung der Verdauungssäfte

Prinzip der Oberflächenvergrößerung

Damit die Bestandteile der Nahrung im Verdauungstrakt gespalten und anschließend aufgeschlossen werden können, müssen sie zunächst mit den entsprechenden Verdauungsenzymen in Kontakt treten (vgl. Kap. 3.1). Dafür ist eine große Oberfläche günstig. So können die entsprechenden Enzyme zu den passenden Substraten gelangen und bestimmte Reaktionen katalysieren.

Bereits im Mund wird die Nahrung durch Kauen zerkleinert, wodurch sich die Gesamtoberfläche der Nahrungsbestandteile erhöht (vgl. Info **Oberflächenvergrößerung**). Die Enzyme aus dem **Speichel**, wie Amylasen und Lipasen, können nun besser mit den Stärke- bzw. Fett-Molekülen aus der Nahrung wechselwirken und diese zum Teil bereits im Mund spalten (vgl. S. 80, 87). Der so vorverdaute Nahrungsbrei gelangt über die Speiseröhre in den Magen und anschließend in den Dünndarm, wo jeweils eigene Mechanismen für eine weitere Vergrößerung der Oberfläche sorgen.

Oberflächenvergrößerung durch Denaturierung

Im Magen findet vor allem die Verdauung von Proteinen durch das Enzym Pepsin statt. Pepsin ist im **Magensaft** enthalten, der hauptsächlich aus verdünnter salzsaurer Lösung, der sogenannten **Magensäure**, besteht (vgl. Info **Begriff „Magensäure“**).

Welchen Einfluss die Magensäure auf die Proteinverdauung hat, lässt sich in einem einfachen Modellversuch anhand eines Hühnereies zeigen (V1): Das Eiklar eines Hühnereies ist im Wesentlichen eine etwa 10 %ige wässrige Lösung verschiedener Proteine. Gibt man Eiklar in salzsaurer Lösung, so verändert sich dessen Konsistenz schlagartig. Es entsteht ein weißer Niederschlag. Auf molekularer Ebene werden durch das Herabsetzen des

INFO

Mit dem Begriff „**Magensäure**“ ist die salzsaurer Lösung des Magensafts gemeint. Anders als man vielleicht vermuten würde, beschreibt „**Magensäure**“ also die Stoffebene. Es handelt sich um einen Begriff aus der Alltagssprache. Da sich der Begriff jedoch auch in fachsprachlicher Literatur durchgesetzt hat, wird er auch in diesem Buch entsprechend verwendet.

pH-Werts die Wasserstoffbrücken zwischen den Aminocarbonsäure-Resten in den Protein-Molekülen zerstört. Dies führt zu einer Veränderung der Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur (vgl. Kap. 2.5).

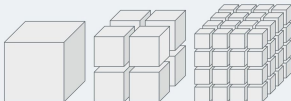
Man bezeichnet diesen Vorgang als **Denaturierung**, da sich die natürliche Struktur der Protein-Moleküle verändert (**B1**). Es kommt meist zu einer irreversiblen Entfaltung der Molekülketten, wodurch die Gesamtoberfläche der Protein-Moleküle vergrößert wird. Das Enzym Pepsin kann somit leichter mit den Protein-Molekülen wechselwirken. Es ruft die Hydrolyse der Peptidbindungen hervor und spaltet die Protein-Moleküle so in einzelne Aminosäure-Moleküle. Pepsin selbst hat sein pH-Optimum im sauren Bereich und liegt in neutraler bzw. basischer Umgebung denaturiert und somit inaktiv vor.



B1 Denaturierung eines Proteins (schematisch)

INFO

Das Prinzip der **Oberflächenvergrößerung** lässt sich anhand eines einfachen Würfel-Modells nachvollziehen: Ein Würfel mit einer Kantenlänge von 1 cm hat eine Oberfläche von 6 cm². Zerteilt man den Würfel in acht kleinere Würfel, erhöht sich die Gesamtoberfläche auf 12 cm². Zerteilt man jeden dieser kleinen Würfel wiederum in 8 noch kleinere Würfel, erhöht sich die Gesamtoberfläche sogar auf 24 cm².

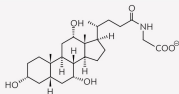


Oberflächenvergrößerung durch Emulgierung

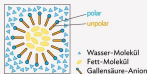
Im Dünndarm wird der Nahrungsbrei mit Sekreten aus der Bauchspeicheldrüse und der Leber vermischt. Der **Bauchspeicheldrüsensaft** (Pankreassaft) neutralisiert die Magensäure. Zudem enthält er verschiedene Verdauungsenzyme, z. B. Amylasen zur Spaltung von Polysaccharid-Molekülen, Lipasen zur Spaltung von Fett-Moleküle, und Peptidasen wie Trypsin zur Spaltung von Protein-Molekülen.

In der Leber wird **Galle** produziert, die in der Gallenblase gespeichert und dann in den Dünndarm abgegeben wird. Galle spielt vor allem für die Fettverdauung eine wichtige Rolle. Gibt man im Labor Rindergalle zu einem Gemisch aus einem fetten Öl und Wasser, so beobachtet man nach dem Schütteln eine Verteilung des Öls im Wasser (V2). Galle fungiert also als **Emulgator**. Sie enthält unter anderem Salze der Gallensäuren. Diese sogenannten **Gallensalze** gehören zu den natürlichen Tensiden. Auf Teilchenebene sind dabei die Gallensäure-Anionen wirksam, z. B. das Glycocholsäure-Anion (B2). Die Fett-Moleküle werden von den Gallensäure-Anionen umgeben, wodurch sich **Micellen** bilden (B3). Die negativ geladenen, polaren Bereiche der Gallensäure-Anionen zeigen in Richtung der Wasser-Moleküle, während die unpolaren Bereiche in Richtung der Fett-Moleküle zeigen.

Auf diese Weise werden Fett und Wasser emulgiert und das Fett in viele kleine Stoffportionen zerteilt. Insgesamt ergibt sich so eine größere Oberfläche des Fettes. Dadurch wird die Wechselwirkung von Fett-Molekülen mit Lipasen erleichtert und die Spaltung der Fett-Moleküle in Fettsäure- und Glycerin-Moleküle durch enzymatische Hydrolyse beschleunigt.



B2 Strukturformel des Glycocholsäure-Anions



B3 Micelle aus Gallensäure-Anionen und Fett-Molekülen

Nachdem die Fettverdauung abgeschlossen ist, werden die Gallensalze sehr effektiv in der Leber recycelt. Jeder Mensch enthält etwa 7 g Gallensalze und produziert täglich 700 mL Gallenflüssigkeit, welche auf 70 mL in der Gallenblase eingedickt wird.

Der saure Magensaft sorgt für eine Denaturierung von Proteinen, wodurch es zu einer Oberflächenvergrößerung kommt. Im Dünndarm werden Fette mithilfe von Gallensäure-Anionen in Wasser emulgiert, was ebenfalls eine Vergrößerung der Oberfläche zufolge hat. Durch die Oberflächenvergrößerung von Nahrungsbestandteilen wird die weitere Verdauung mithilfe von Enzymen erleichtert.

AUFGABEN

- A1 Stellen Sie das Prinzip der Oberflächenvergrößerung wie im Infokasten anhand eines Hefewürfels nach.
- A2 Ein Frühstücksei ist in etwa 6 Minuten hartgekocht. Erklären Sie diese Beobachtung auf Teilchenebene.
- A3 Stellen Sie das Prinzip der Oberflächenvergrößerung durch Emulgierung in einer Bilderfolge auf Teilchenebene dar.
- A4 Einem Patienten muss aufgrund der Bildung von Gallensteinen bei einer Operation die Gallenblase

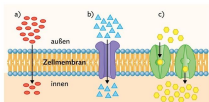
entfernt werden. Recherchieren Sie, warum er trotzdem noch fettthaltige Speisen verdauen kann.

- A5 Lebensmitteln werden häufig Emulgatoren zugesetzt. Erstellen Sie anhand der Zutatenliste der Lebensmittel in Ihrem Kühlschrank bzw. im Supermarkt eine Tabelle mit mindestens fünf Beispielen von Emulgatoren.
- A6 Erstellen Sie eine Übersicht über die auf der Doppelseite genannten Enzyme, deren Substrate und die jeweilige Art der katalysierten Reaktion.

3.2.3 Resorption, Transport und Speicherung

Resorption im Dünndarm

Nach der Verdauung der Nahrungsbestandteile erfolgt die **Resorption**. Darunter versteht man die Aufnahme der gespaltenen (verdauten) Nahrungsbestandteile vor allem über Mund- und Darmschleimhäute. Die Dünndarmwand besteht aus vielen Darmfalten, die mit sogenannten Darmzotten besetzt sind (B5). Beides führt zu einer großen Oberfläche der Dünndarmwand. Die Oberfläche der Darmzotten besteht wiederum aus Dünndarmzellen, die die Bausteine der Nahrungsbestandteile aufnehmen und in Blut und Lymphe weiterleiten (B5). Kleine Moleküle, z. B. Sauerstoff-, Kohlenstoffdioxid-, Ethanol- und Harnstoff-Moleküle, können Zellmembranen häufig direkt mittels Diffusion passieren (B4 a). Einige polare Moleküle sowie Ionen gelangen entlang eines Konzentrationsgefälles über **Tunnelproteine** durch die Zellmembran (B4 b). Der Transport anderer polarer Moleküle, wie z. B. Glucose, erfolgt über spezifische **Carrierproteine** (B4 c). Diese wechselwirken ähnlich wie Enzyme nur mit ganz bestimmten Molekülen und überführen sie aktiv ins Zellinnere. Anschließend werden die Stoffe weiter in Blut bzw. Lymphe geleitet. Lipophile Stoffe, wie Fette und fettlösliche Vitamine, müssen zur Aufnahme in die wässrigen Körperflüssigkeiten zunächst in Micellen verpackt werden (vgl. S. 89).



B4 Schematische Darstellung verschiedener Transportformen durch die Zellmembran

Das Darmmikrobiom

Im Gegensatz zum Dünndarm besitzt die Schleimhaut des Dickdarms keine Zotten, die zur Oberflächenvergrößerung führen. Dem Speisebrei werden im Dickdarm keine weiteren Enzyme zugesetzt. Die eigentliche Verdauung ist hier also weitgehend abgeschlossen. Jedoch sind über 400 verschiedene Arten von Bakterien mit einer Masse von bis zu 1,5 kg, das sogenannte **Darmmikrobiom**, im Dickdarm angesiedelt. Die Bakterien spalten einige für den Menschen unverdauliche Stoffe durch Gärungs- und Fäulnisprozesse. Teilweise werden dabei nützliche Produkte, wie Fettsäuren und Vitamine gebildet. Auch Mineralsalze und Wasser werden im Dickdarm resorbiert, was zur Eindickung des Kots führt.

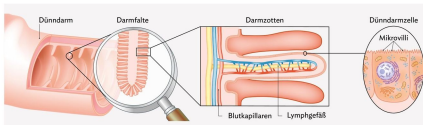
Das Darmmikrobiom ist sehr komplex und gleichzeitig äußerst anpassungsfähig. Die genaue Zusammensetzung variiert von Mensch zu Mensch. Auch finden sich je nach Ernährungsweise unterschiedliche Bakterien im Dickdarm. Einflüsse können dabei z. B. vegetarische oder vegane Ernährung oder die Art der Nahrungszubereitung sein.

Fructose-Malabsorption

Bei der sogenannten **Fructose-Malabsorption** liegt eine eingeschränkte Transportkapazität eines Transportproteins der Dünndarmzellen vor. Fructose kann daher nicht vollständig von den Dünndarmzellen resorbiert werden und gelangt zum Teil in den Dickdarm. Dort wirkt Fructose wasserziehend. Der Einstrom von Wasser in das

INFO

Bei der sehr viel selteneren **erblichen Fructoseintoleranz** wird Fructose ordnungsgemäß über die Dünndarmwand resorbiert. Jedoch liegt ein genetischer Defekt des Enzyms Aldase B vor, das an der Verstoffwechselung von Fructose in der Leber beteiligt ist.



B5 Aufbau der Dünndarmwand

Darmlumen äußert sich in Durchfällen. Bakterien des Darmmikrobioms verwerten zudem Fructose unter anderem zu Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff, was Blähungen und Bauchschmerzen verursacht.

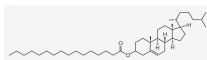
Vitamine: von der Nahrungszubereitung bis zur Speicherung im Körper

Es gibt hydrophile (wasserlösliche) und lipophile (fettlösliche) Vitamine (vgl. Kap. 2.1). Ein Salat mit Essig-Öl-Dressing enthält daher für beide Vitamingruppen die jeweils benötigten Lösemittel und sorgt so für eine entsprechende Zufuhr an Vitaminen und Mineralsalzen für den Körper (V3, V4). Bei der Zubereitung von Speisen ist jedoch nicht nur auf die unterschiedliche Löslichkeit der Vitamine zu achten. Vitamin C sowie die Vitamine B1 (Thiamin) und B5 (Panthothensäure) sind sehr empfindlich gegenüber hohen Temperaturen. Temperaturen über 100 °C zerstören bereits mehr als 50 % der Vitamine.

Die Resorption hydrophiler und lipophiler Vitamine läuft sehr unterschiedlich. Während hydrophile Vitamine direkt von Dünndarmzellen aufgenommen und ins Blut weitergeleitet werden, müssen lipophile Vitamine gemeinsam mit Fetten aus der Nahrung resorbiert werden. Die Moleküle der Fette und lipophilen Vitamine werden mithilfe von Gallensalzen in Micellen verpackt (vgl. S. 87). Nach der Fettverdauung werden die Verdauungsprodukte zusammen mit den Vitaminen zu den Dünndarmzellen transportiert und dort in die Zellen aufgenommen. Die Fettabbauprodukte reagieren in den Zellen wieder zu Fetten und werden zusammen mit den Vitaminen wiederum in Micellen, sogenannten Plasma-Lipoprotein-Partikeln, aufgenommen (M5). Deren Hülle besteht aus amphiphilen Phospholipiden und Cholesterinestern (B6). Die Mo-

leküle beider Stoffgruppen besitzen einen polaren Bereich, der in den Micellen nach außen gerichtet ist, sowie einen unpolaren Bereich, der nach innen gerichtet ist. So können im Inneren der Micellen unpolare Moleküle gelagert und über die wässrigen Körperflüssigkeiten Lymphe und Blut zu den Zielzellen transportiert und dort gespeichert werden.

Im Gegensatz zu hydrophilen Vitaminen können lipophile Vitamine z. B. in der Leber über Monate hinweg gespeichert werden. So produziert unser Körper in den sonnigen Monaten in Hautzellen durch UV-Strahlung einen Vorrat an Vitamin D. Nur 10–20 % des Bedarfes an Vitamin D entstammen unserer Nahrung. Sind die Speicher nach dem Sommer nicht ausreichend gefüllt oder produziert der Körper zu wenig Vitamin D, so kann der Mangel über Nahrungs(ergänzungs)mittel ausgeglichen werden. Doch Vorsicht, auch eine Überdosierung kann schwere, unerwünschte Nebenwirkungen mit sich bringen.



B6 Strukturformel des Cholesterinpalmitat-Moleküls, ein Cholesterinester-Molekül

Nahrungsbestandteile werden in Abhängigkeit ihrer Löslichkeit auf unterschiedliche Weise vom Körper resorbiert, transportiert und gespeichert. Generell gilt: Hydrophile Stoffe können weniger lang gespeichert werden.

AUFGABEN

- A1** a) Führen Sie einen Tag lang ein Essenstagebuch, in dem Sie alles notieren, was Sie an diesem Tag essen. Markieren Sie anschließend alle verzehrten Lebensmittel, auf die Sie mit Fructose-Malabsorption ggf. verzichten müssten. Recherchieren Sie dazu auf den Etiketten oder im Internet.
- b) Tatsächlich sollte bei einer diagnostizierten Fructose-Malabsorption zwar deutlich weniger Fructose aufgenommen, jedoch nicht gänzlich darauf verzichtet werden. Stellen Sie eine Hypothese zur Begründung dieser Maßnahme auf.
- c) Recherchieren Sie weitere hilfreiche Aspekte, die Sie einer betroffenen Person raten können.
- A2** Menschen mit einer Lactose-Unverträglichkeit (vgl. Kap. 3.1) leiden häufig unter Blähungen und Durchfall. Begründen Sie dies.
- A3** Die beiden Polysaccharide Stärke und Cellulose unterscheiden sich hinsichtlich ihres molekularen Aufbaus, besitzen aber identische Glucose-Grundbausteine.
- a) Stellen Sie zwei Hypothesen auf, wie Kühe im Gegensatz zu Menschen in der Lage sind, Cellulose in ihrem Körper zu verwerten.
- b) Diskutieren Sie die verschiedenen Hypothesen in der Klasse.
- A4** Erklären Sie die Notwendigkeit der unterschiedlichen Resorptions- und Transportwege hydrophiler und lipophiler Vitamine.



3.3 Lebensmittelauswahl

Das Internet ist voll von Ernährungsratschlägen und auch beim Einkauf locken die Versprechen der Lebensmittelproduzenten. Doch nach welchen Kriterien sollten wir unsere Ernährung gestalten? Woran erkennt man gesunde Lebensmittel und ist unser Konsumverhalten nachhaltig?

3.3.1 Versuche und Material

M Lebensmittelkennzeichnung

M1 Ein Hersteller für High-Protein-Quark wirbt: „Die Extra Portion Protein für knackige Muskeln. Wenig Zucker, voller Geschmack!“ Wie findet man heraus, was tatsächlich im Quark steckt?

Die Lebensmittelkennzeichnung ist gesetzlich genau geregelt. So müssen ganz bestimmte Bezeichnungen und Pflichtangaben beachtet werden. Sogar die Mindestgröße der Schrift ist vorgegeben.

AUSWERTUNG

- Recherchieren Sie zur gesetzlich vorgeschriebenen Lebensmittelkennzeichnung und erstellen Sie eine Mindmap zu dem Thema.
- Das Lebensmitteletikett in **B1** enthält Fehler bzw. fehlende Angaben. Übernehmen Sie das Etikett in Ihre Unterlagen und ergänzen bzw. korrigieren Sie es.
- Beurteilen Sie, ob das fehlerhafte Etikett die Käuferinnen und Käufer bezüglich Ihres Kaufverhaltens beeinflussen kann.

Quark Creme

0,2 % Fett, cremig gerührt, natur

Durchschnittliche Nährwerte pro 100 g	
Brennwert	215 kJ / 51 kcal
Salz	0,10 g
Kohlenhydrate	3,7 g
davon Zucker	3,7 g
Eiweiß	8,5 g

Bei maximal +7 °C mindestens haltbar bis: siehe Aufdruck Deckel

Nach dem Öffnen gekühlt aufbewahren und alsbald verbrauchen.

150 g e

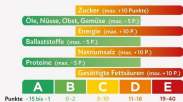
B1 Fehlerhafte bzw. unvollständige Nährwertangaben auf einer Quark-Creme

M Gesundheitliche Aspekte bei der Lebensmittelauswahl

M2 Auf Lebensmittelverpackungen finden sich meist allerlei bunte Hinweise und Bildchen. Relevante Angaben zu den Inhaltsstoffen der Lebensmittel werden dadurch oft unübersichtlich. Um dem entgegenzuwirken, wurde im November 2020 der Nutri-Score eingeführt. Dabei handelt es sich um eine freiwillige Verpackungskennzeichnung von Lebensmitteln. Der Nutri-Score soll die Nährwertangabe ergänzen und steht auf dem Hauptsichtfeld des Produkts.

AUSWERTUNG

- Untersuchen Sie die Angabe von Inhaltsstoffen bei verschiedenen Lebensmitteln in Ihrem Haushalt. Prüfen Sie, ob hier durch die Gestaltung der Etiketten das Kaufverhalten der Konsumenten beeinflusst werden soll.
- Betrachten Sie das Schaubild in **B2** und beschreiben Sie, wie der Nutri-Score zu deuten ist.
- Geben Sie an, ob alle relevanten Makro- und Mikronährstoffe im Nutri-Score berücksichtigt werden (vgl. Kap. 2.1).
- Vergleichen Sie die Nutri-Scores verschiedener Lebensmittel und geben Sie jeweils begründet an, ob Ihnen die Einordnung sinnvoll erscheint.
- Beurteilen Sie die Aussage, dass der Nutri-Score den informierten Einkauf vereinfacht.



B2 Grundschemata zur Ermittlung des Nutri-Scores:

Gesunde Inhaltsstoffe werden mit Minuspunkten (grün) und ungesunde Inhaltsstoffe mit Pluspunkten (rot) in eine Gesamtwertung eingerechnet.

- Die WHO rät den Regierungen, Lebensmittel mit besonders hohem Zuckergehalt mit einer Sondersteuer zu belegen. Einige Länder wie Frankreich und Finnland haben diese Steuer bereits eingeführt mit dem Ziel, die Ernährungsweise der Menschen positiv zu beeinflussen. Diskutieren Sie in Form einer Podiumsdiskussion mit verteilten Rollen die Pro- und Kontra-Argumente des Einsatzes einer Zuckersteuer und fällen Sie anschließend ein eigenes Urteil.

M Nachhaltigkeit bei der Lebensmittelauswahl

M3 Wenn man umweltbewusst und nachhaltig Lebensmittel konsumieren möchte, können bestimmte Siegel uns über die Produktion und über die Nachhaltigkeit des Produkts informieren. Was verraten uns die Siegel genau?



B3 Drei Lebensmittelsiegel

AUSWERTUNG

- Es gibt zahlreiche unterschiedliche Lebensmittelsiegel, deren Aussagekraft stark variiert. **B3** zeigt drei Beispiele. Informieren Sie sich über die dargestellten Siegel und stellen Sie die grundlegenden Aussagen der Siegel übersichtlich dar.
- Leiten Sie Werte ab, die den Käufern der entsprechenden gekennzeichneten Produkte wichtig sein könnten.
- Erstellen Sie ein Fantasie-Siegel, das symbolisch alle Werte Ihres eigenen Einkaufsverhaltens darstellt.

3.3.2 Gesunde Ernährung

Die Energiebilanz

Energie wird dem menschlichen Körper als chemische Energie über die Nahrung zugeführt. Sie wird im Körper u.a. in überlebensnotwendige Funktionen wie Herzschlag und Gehirnaktivität investiert. Die international gebräuchliche Einheit für Energie ist Joule (J) bzw. **Kilojoule (kJ)**.

Die Menge an Energie, die der Mensch pro Tag benötigt, kann als Schätzwert ermittelt werden. Dabei ist vor allem die körperliche Aktivität entscheidend. Der Richtwert für die tägliche Energiezufuhr beträgt bei weiblichen Jugendlichen ca. 8.400 bis 11.000 kJ und bei männlichen Jugendlichen ca. 11.000 bis 14.000 kJ. Wird genau so viel Energie über die Nahrung aufgenommen, wie der Körper im Laufe eines Tages verbraucht, ist die **Energiebilanz** ausgeglichen.

Wie viel Energie steckt in den Lebensmitteln?

Die Energie eines Nährstoffs oder Lebensmittels wird als **Energiedichte** bezogen auf eine bestimmte Masse angegeben. Die **Energiedichte** einiger wichtiger Inhaltsstoffe ist in **B1** aufgelistet. Insbesondere Kohlenhydrate und Fette sind für die Energieversorgung des Körpers relevant. Lebensmittel sind meist Stoffgemische. Um die Energiedichte eines Lebensmittels herauszufinden, muss bekannt sein, welche Inhaltsstoffe zu welchen Anteilen in dem Lebensmittel enthalten sind. Quantitativ lässt

Inhaltsstoff	Energiedichte
Kohlenhydrate	17 kJ/g
Fette	37 kJ/g
Proteine	17 kJ/g
Ethanol	29 kJ/g
Ballaststoffe	8 kJ/g
Wasser	0 kJ/g

B1 Energiedichte verschiedener Inhaltsstoffe

	Energie- dichte	Fette und Fett- säuren	Proteine und Amino- n-carbon- säuren	Kohlen- hydrate	Ballast- stoffe	Vitamine	Mineral- salze	Wasser
Gemüse								
Obst								
Fleisch, Fisch, Eier								
Brot, Nudeln, Reis								
Käse, Nüsse								
Fette und fette Öle								
Süßwaren								

B2 Energiedichte und Nährstoffgehalt einiger Lebensmittel im Vergleich. (Je dunkler die Farbe ist, desto höher sind die Werte.)

sich die Masse eines Inhaltsstoffes x im Verhältnis zur Gesamtmasse des Stoffgemisches mit dem **Massenanteil w** beschreiben:

$$w = \frac{m(x)}{m(\text{Stoffgemisch})}$$

Der Massenanteil eines Inhaltsstoffes kann Zahlenwerte von 0 bis 1 annehmen. 0 bedeutet, dass die Komponente nicht im Lebensmittel enthalten ist, 1 bedeutet, dass ein Lebensmittel als Reinstoff vorliegt, z. B. Wasser. Die **Energiedichte** eines Lebensmittels ergibt sich aus den Massenanteilen der vorhandenen Inhaltsstoffe und deren **Energiedichten**. Fett- und kohlenhydratreiche Lebensmittel haben meist eine hohe **Energiedichte**. Ein hoher Wasser- oder Ballaststoffgehalt deutet meist eine niedrige **Energiedichte** an.

Ausgewogene Ernährung

Für eine gesunde und ausgewogene Ernährung sollten Lebensmittel mit einer geringen **Energiedichte** und einem hohen Anteil **essenzieller Nahrungsbestandteile** ausgewählt werden (**B2**). Als **essenziell** bezeichnet man solche Nahrungsbestandteile, die der Körper nicht selbst herstellen kann, die aber lebenswichtig für den Körper sind. Dazu zählen Mineralsalze, viele Vitamine und Aminosäuren sowie einige ungesättigte Fettsäuren. Besonders wichtig für eine ausgewogene Ernährung ist die täglich aufgenommene Wassermenge. Bereits nach zwei bis vier Tagen ohne Flüssigkeitszufuhr kommt es zu massiven Beeinträchtigungen unseres Körpers. Wasser löst verschiedene Stoffe in unserem Körper, z. B. Elektrolyte wie Natriumchlorid. Verschiedene gelösten Stoffe erfüllen wiederum vielfältige Aufgaben in unserem Körper, wie Weiterleitungsfunktionen in unserem Nervensystem oder die Regulation des Wassergehalts in unseren Zellen. Außerdem sorgt Wasser dafür, dass Temperaturschwankungen unseres Körpers mittels Schwitzen ausgeglichen werden.

Die Lebensmittelpyramide

Ursprünglich zielten viele Ernährungsempfehlungen hauptsächlich auf eine quantitativ ausreichende Versorgung mit Makro- und Mikronährstoffen (vgl. Kap. 2.1.2) ab. Dies wurde z. B. in Form eines **Ernährungskreises** dargestellt, der den Anteil der Lebensmittel an einer ausgewogenen Ernährung wiedergibt. Später wurden komplexere Strukturen veröffentlicht, für deren Entwicklung auch qualitative Kriterien, z. B. der Zusammenhang von Ernährungsweisen und Krankheitshäufigkeiten, einbezogen wurden. Seit 2005 werden die Prinzipien einer vollwertigen und ausgewogenen Ernährung von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) anhand der **Dreidimensionalen Lebensmittelpyramide** (B3) veranschaulicht.

Für eine gesunde und ausgewogene Ernährung sollten Lebensmittel mit einer geringen Energiedichte und einem hohen Massenanteil an essenziellen Nahrungsbestandteilen ausgewählt werden. Zudem muss auch auf eine regelmäßige Wasserzufuhr geachtet werden. Die Lebensmittelpyramide gibt Orientierung für eine ausgewogene Ernährung.



B3 „Die Dreidimensionale Lebensmittelpyramide der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE) veranschaulicht die Prinzipien einer vollwertigen Ernährung. Auf der Unterseite der Pyramide ist der DGE-Ernährungskreis abgebildet. Er teilt das reichhaltige Lebensmittelangebot in sieben Gruppen ein und erleichtert so die tägliche Lebensmittelauswahl. Je größer ein Segment des Kreises ist, desto größere Mengen sollten aus der Gruppe verzehrt werden. Lebensmittel aus kleinen Segmenten sollten dagegen sparsam verwendet werden. Die Seitenflächen der Dreidimensionalen DGE-Lebensmittelpyramide geben durch die räumliche Anordnung der Lebensmittel die zusätzliche Information, welche Lebensmittel innerhalb der jeweiligen Gruppen zu bevorzugen sind: Lebensmittel an der Basis der Pyramidenfläche gelten als besonders empfehlenswert, Lebensmittel in der Spitze als weniger empfehlenswert.“
Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. (Hrsg.). Begleittext zur Abbildung Dreidimensionale DGE-Lebensmittelpyramide. Bonn (2018) (siehe auch QR-/Mediencode 06041-24)



AUFGABEN

- A1** Einige Ernährungswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler empfehlen fünf Mahlzeiten pro Tag: Frühstück (25 % der Gesamtenergie), Vormittags-snack (10 % der Gesamtenergie), Mittagessen (30 % der Gesamtenergie), Nachmittagsimbiss (10 % der Gesamtenergie) und Abendessen (25 % der Gesamtenergie). Erstellen Sie mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms einen Mahlzeitenplan, sodass die Energiebilanz am Ende des Tages ausgeglichen ist. Verwenden Sie Energiedichtewerte aus dem Internet. Gehen Sie dabei von einer oder einem Studierenden aus, die bzw. der an diesem Tag nur wenig sportlich aktiv ist.

- A2** Die Tabelle unter QR-/Mediencode 06041-23 zeigt einen Vergleich der Ernährungsge-wohnheiten von 1900 und 2021.
- Erstellen Sie mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms aus den angegebenen Daten ein Balkendiagramm.
 - Beschreiben Sie die wesentlichen Unterschiede in den Ernährungsge-wohnheiten der Menschen in den Jahren 1900 und 2021.
 - Nennen Sie soziale, technologische und ökonomische Gründe für die Unterschiede.
 - „Die heutige Ernährung ist nicht wesentlich gesünder als jene im Jahr 1900.“ Bewerten Sie diese Aussage unter sozialen und kulturellen Gesichtspunkten.



3.3.3 Ernährung – Umwelt und Gesellschaft

Der ökologische Fußabdruck

Der **ökologische Fußabdruck** gibt die Fläche an, die benötigt wird, um den Ressourcenverbrauch z. B. an Nahrung oder Rohstoffen eines Menschen oder einer Bevölkerung zu decken. Er wird in der Maßeinheit **Globaler Hektar** angegeben. In seine Berechnung fließen alle biologisch produktiven Land- und Wasserflächen ein, die notwendig sind, um den jeweiligen Lebensstandard der Menschen zu erhalten und die dabei anfallenden Abfälle abzubauen.

Dem Verbrauch an Fläche steht die **biologische Kapazität** entgegen. Sie gibt – ebenfalls in der Maßeinheit Globaler Hektar – die Kapazität eines Ökosystems an, vom Menschen benötigte Ressourcen zu produzieren und die durch den Menschen erzeugten Abfallstoffe aufzunehmen. Die biologische Kapazität stellt also die Angebotsseite eines Ökosystems dar, während das Konzept des ökologischen Fußabdrucks den Verbrauch an Ressourcen eines Ökosystems durch den Menschen berücksichtigt. Der Vergleich beider Werte gibt Hinweise darauf, ob ein ökologisches Defizit vorliegt oder ausreichend ökologische Reserven verfügbar sind.

Der ökologische Fußabdruck ist somit ein Maß für **Nachhaltigkeit**. Darunter versteht man das Prinzip, dass nur so viel an Ressourcen verbraucht werden darf, wie in absehbarer Zukunft durch Nachwachsen oder Regeneration wieder zur Verfügung gestellt werden kann.

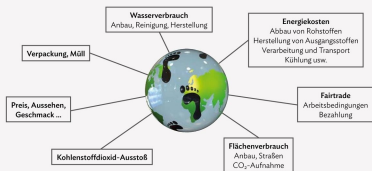
Einfluss der Ernährung

Einen großen Einfluss auf den ökologischen Fußabdruck haben unsere Essgewohnheiten und die tägliche Ernäh-

rung. Da die Weltbevölkerung permanent wächst, wird immer mehr Nahrung benötigt und produziert. Intensive Landwirtschaft, Tierhaltung und Futtermittelimporte führen zur großindustriellen Lebensmittelproduktion und sorgen gleichzeitig für eine hohe Umweltbelastung und enormen Ressourcenverbrauch. Alle Lebensmittel durchlaufen spezifische Produktionsschritte, wie Anbau, Verarbeitung, Verpackung, Verteilung, Konservierung, Verkauf und Entsorgung von Abfällen. Jeder dieser Schritte hat Einfluss auf den ökologischen Fußabdruck eines Nahrungsmittels (**B4**).

Obst, Gemüse und Getreide benötigen große **Anbauflächen**, für die häufig Ökosysteme zerstört und somit natürliche Lebensbeziehungen negativ beeinflusst werden. Auch der **Wasserverbrauch** ist beim Anbau vieler Obst- und Gemüsesorten enorm. Zudem kann eine Überdüngung der Böden zur Belastung der Umwelt führen.

Südfrüchte wie Bananen oder Ananas wachsen unter natürlichen Bedingungen nur in Ländern nahe dem Äquator und auch Obst und Gemüse, das eigentlich lokal angebaut werden könnte, wird häufig aus fernen Ländern angeliefert. Die weiten **Transportwege** haben einen hohen Kohlenstoffdioxidausstoß und somit einen negativen Einfluss auf das Klima zufolge (**B5**). Auch die weiteren Produktionsschritte, wie z. B. Verarbeitung und Konservierung, haben Einfluss auf Klima und Umwelt. Als besonders schädlich für das Klima gilt der Verzehr von Fleisch und Fleischprodukten. In Deutschland wurden 2019 pro Kopf 10 kg Rindfleisch verzehrt. Hinter Schweine- und Geflügelfleisch handelt es sich damit um die drittbeliebteste Fleischsorte. Rindfleisch gilt jedoch als eines der klimaschädlichsten Lebensmittel: Bei der



B4 Faktoren, die den ökologischen Fußabdruck und die Nachhaltigkeit beeinflussen

Lebensmittel	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente pro Kilogramm Lebensmittel
Ananas, per Schiff	0,6
Ananas, per Flugzeug	15,1
Ananas, Dose	1,8
Apfel aus der Region, Herbst	0,3
Apfel aus der Region, April	0,4
Apfel, Neuseeland	0,8

B5 Kohlenstoffdioxid-Ausstoß bei der Produktion verschiedener Lebensmittel (Quelle: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg)

INFO

Bei der Angabe **Kohlenstoffdioxid-Äquivalente** werden neben Kohlenstoffdioxid auch andere Treibhausgase wie Methan, Stickstoffoxide und Kohlenwasserstoffe berücksichtigt. Da die Gase ein unterschiedliches Potential zur Erwärmung des Klimas haben, werden nicht direkt die Massen der Gase angegeben, sondern diese entsprechend des jeweiligen Erwärmungspotentials in Kohlenstoffdioxid-Äquivalente umgerechnet.

Produktion von 100 g Rindfleisch werden 1,36 kg Kohlenstoffdioxid-Äquivalente ausgestoßen (vgl. Info). Ein Grund für den hohen Kohlenstoffdioxidausstoß ist das Futtermittel Soja. Rund 80 % des Sojas für die Futtermittelindustrie in Deutschland wird aus Südamerika importiert. Da dort die Nachfrage so groß ist, werden Flächen extra für den Sojaanbau gerodet. Zudem werden beträchtliche Mengen an Trinkwasser verbraucht. Würden die Futterpflanzen direkt der menschlichen Ernährung dienen, so könnten fünf bis zehn Mal so viele Menschen davon satt werden.

Ernährungstrends

Ernährungstrends dominieren den Markt. Beim Einkauf fallen unterschiedliche Marketingstrategien auf: gluten-

frei, zuckerfrei, fettfrei, vegetarisch, vegan etc. Jeder dieser Trends erzeugt ein bestimmtes Kauf- und Essverhalten beim Konsumenten. Mittlerweile sind Ernährungsweisen zu gesellschaftlichen Trends geworden, da unterschiedliche Wertvorstellungen damit verknüpft werden.

Die verschiedenen Ernährungstrends haben unterschiedliche Ansätze. Im Fall von „Frei von ...“-Produkten werden beispielsweise bestimmte stoffliche Produkte ausgegrenzt, z. B. Gluten oder Lactose. Auch die Zubereitungsart kann ein Ernährungstrend sein. Es können aber auch ganze Lebensmittelgruppen oder Kombinationen an Lebensmittelgruppen ausgegrenzt werden, z. B. beim Vegetarismus, Veganismus oder der Paleo-Diät (vgl. S. 96 Bf).

Hinzu kommt, dass das Nahrungsangebot bei uns üppig ist. Somit steht der Konsument am Einkaufsregal und hat die freie Auswahl, ist aber auch Entscheidungszwängen unterworfen. Bei der Entscheidungsfindung spielt das eigene Wertespektrum eine große Rolle (vgl. BK S. 96 f.).

Der ökologische Fußabdruck ist ein Maß für Nachhaltigkeit. Er beschreibt, wieviel Fläche benötigt wird, um den Bedarf an Ressourcen zu decken. Unsere Ernährung hat einen großen Einfluss auf den ökologischen Fußabdruck, u. a. durch die benötigten Anbauflächen, den Verbrauch an Wasser und den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid während des Produktionsprozesses. Unser Kauf- und Essverhalten wird von kulturellen und sozialen Faktoren sowie von ökologischen und ökonomischen Werten beeinflusst. Einen großen Einfluss haben auch die Produzenten, die durch gezielte Marketingstrategien zum Kauf bestimmter Lebensmittel anregen.

AUFGABEN

- A1** Viele Menschen leben mittlerweile fleischlos („Vegetarier“) oder lehnen tierische Produkte komplett ab („Veganer“) und begründen dies teilweise damit, dass ihre Lebensweise besser für unseren Planeten sei. Erklären Sie den Zusammenhang zwischen der Ernährungsart eines Menschen und seinem Beitrag zum Umweltschutz.
- A2** „Saisonal und regional – ist genial!“ Bewerten Sie diesen Slogan unter Berücksichtigung von B5.
- A3** Bewerten Sie den Einkauf von losen Bio-Orangen aus Südsanien gegenüber dem Kauf regional geernteter und gespritzter Äpfel, die in Folie abgepackt sind (vgl. BK S. 96 f.).
- A4** Beim Klimaschutz kann jede und jeder Einzelne von uns vorausgehen und dazu beitragen, den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid zu vermeiden. Es gibt vielfältige Kohlenstoffdioxid-Rechner im Internet. Ermitteln Sie Ihre eigene Kohlenstoffdioxid-Bilanz und notieren Sie sich Tipps und Tricks, um Kohlenstoffdioxid-Emissionen zu reduzieren.

3.3.4 Möglichkeiten der Lebensmittelauswahl bewerten

Als **Dilemma-Situation** („Zwickmühle“) bezeichnet man die Zwangslage einer Person, die sich zwischen zwei oder mehreren Handlungsoptionen entscheiden muss, die jeweils gleichermaßen negativen Folgen nach sich ziehen können und somit zu einem unerwünschten Resultat führen. So kann z. B. ein Konflikt zwischen individuellen und gemeinschaftlichen Interessen ein Dilemma auslösen. Folgende Schritte helfen dabei, eine reflektierte ethische Entscheidung zu treffen und zu reflektieren.

VORGEHEN

1. Beschreiben Sie die **Dilemma-Situation**.

Beispiel: Einerseits sollte ich mich gesund und ausgewogen ernähren, andererseits liegt mir das Klima und das Tierwohl am Herzen. Steht dies im Widerspruch oder lassen sich die Werte miteinander vereinen?

2. Recherchieren Sie die **Fakten** zu der Problematik. Die Seiten 92-95 geben einige grundlegende Hinweise zu gesunder und nachhaltiger Ernährung. Da das Thema sehr komplex ist, sollten weitere Hintergründe und Fakten ggf. im Internet recherchiert werden.

3. Formulieren Sie verschiedene **Handlungsoptionen**.

Es gibt viele verschiedene Ernährungsformen, die konsequent, in Teilen oder auch kombiniert ausgeführt werden können. Einige Beispiele sind in B1 angeführt. Alternativ kann es z. B. auch eine Handlungsoption sein, nur das Günstigste zu kaufen.

4. Formulieren Sie Einschränkungen oder Unterstützungen betroffener **Werte**, die durch bestimmte Handlungsoptionen auftreten.

Mögliche Werte, die hier eine Rolle spielen können, sind Gesundheit, Genuss, Nachhaltigkeit, Tierwohl und Wirtschaftlichkeit. Jede Handlungsoption beeinflusst diese Werte entweder einschränkend oder unterstützend.

5. Füllen Sie ein **persönliches Urteil**. Berücksichtigen Sie dabei die betroffenen Werte hinsichtlich ihrer Wichtigkeit (**Wertehierarchie**).

Ein eigenes Urteil sollte auf Grundlage einer persönlichen Wertehierarchie gefällt werden. Ein Arbeitsblatt dazu finden Sie unter QR-/Mediencode 06041-25.



06041-25

Vegetarismus und Veganismus

Bei der **vegetarischen Ernährung** wird auf sämtliche Produkte verzichtet, die von getöteten Tieren stammen bzw. diese enthalten. Milchprodukte, Eier etc. werden dagegen in der Regel verzehrt.

Unterschieden werden kann zwischen **Ovo-Vegetariern** (essen Eier, aber weder Fleisch, noch Fisch, noch Milchprodukte), **Lacto-Vegetariern** (essen Milchprodukte, aber weder Fleisch, noch Fisch, noch Eier), **Ovo-Lacto-Vegetariern** (essen Eier und Milchprodukte, aber kein Fleisch und Fisch) und **Ovo-Lacto-Pisces-Vegetariern** (essen Eier, Milchprodukte und Fisch, aber kein Fleisch).

Bei der **veganen Ernährung** wird auf sämtliche Tierprodukte verzichtet. Hierzu zählen neben Fleisch und Fisch auch Milchprodukte und Eier.

Regional und saisonal

Beim Kauf **regionaler Lebensmittel** spielen insbesondere die Reduzierung der Transportwege und die Unterstützung lokaler Strukturen eine Rolle. Die Größe der Region ist dabei nicht genau definiert.

Bei der **saisonalen Ernährung** werden nur Lebensmittel konsumiert, die zur aktuellen Jahreszeit natürlich und außerhalb von Treibhäusern wachsen. Eine regionale Ernährung impliziert in den meisten Fällen auch eine saisonale Ernährung.

B1 Einige Ernährungstrends

Bio

Bei der Bio-Ernährung kommen nur Lebensmittel zum Einsatz, die aus **ökologisch kontrolliertem Anbau** stammen. Verschiedene Bio-Siegel weisen die Bio-Qualität der Lebensmittel aus, greifen dabei jedoch auf sehr unterschiedlich strenge Kriterien zurück. In der EU dürfen als Bio gekennzeichnete Lebensmittel keine gentechnisch veränderten Organismen enthalten und nicht mit synthetischen Pestiziden, Kunstdünger oder Klärschlamm behandelt worden sein. Tiere müssen artgerecht gehalten werden und dürfen in der Regel nicht mit Antibiotika und Wachstumshormonen behandelt werden.

Paleo-Ernährung

Diese sogenannte **Steinzeit-Ernährung** sollte ausschließlich Lebensmittel enthalten, die es vor zwei Millionen Jahren auch schon gab: viel Obst und Gemüse, Nüsse, Wurzeln und Fleisch – keine verarbeiteten Lebensmittel wie Zucker, Salz, Getreideerzeugnisse, Kaffee, Milch, etc.

Clean-Eating

Beim Clean-Eating steht im Vordergrund, sich so natürlich wie möglich zu ernähren. Verarbeitete Lebensmittel und Fertigprodukte werden gemieden. Stattdessen wird auf eine **frische Zubereitung naturbelassener Lebensmittel** gesetzt.

6. Begründen Sie ihr Urteil mithilfe einer **ethischen Argumentation**, die auch die Folgen der Handlungsoption berücksichtigt.

Das Argumentieren in ethischen Zusammenhängen folgt einem bestimmten Muster: Zunächst wird eine **Tatsache** dargelegt. Daraufhin folgt eine persönliche **Meinung**, der stets mindestens ein Wert zugrunde liegt. Daraus wird eine bestimmte **Schlussfolgerung** abgeleitet.

7. Vergleichen Sie **alternative Urteile** und diskutieren Sie diese.

Um verschiedene Urteile vergleichen zu können, hilft ein Perspektivenwechsel, bei dem man sich in die Lage einer anderen Person versetzt und versucht, die Situation durch die Augen des anderen zu betrachten. Hierbei wird deutlich, dass

den Urteilen verschiedene Werthierarchien zugrunde liegen können. Im Rahmen einer Diskussion können verschiedene Argumente und Urteile gegeneinander abgewogen werden.

8. **Reflektieren** Sie das ursprünglich gefällte Urteil. Das Vergleichen möglicher Folgen des eigenen Urteils sowie alternativer Urteile kann neue Aspekte aufdecken. Dies kann einerseits dazu führen, dass das ursprüngliche Urteil angepasst bzw. revidiert werden muss. Andererseits kann das gefällte Urteil nach wie vor Bestand haben und durch den Prozess zusätzlich gefestigt und gestärkt werden.

(Quelle: basierend auf C. Höhle et al., Bewertungsprozesse verstehen und diagnostizieren – In: ZISU 1, 2012.)

AUFGABEN

- A1 Geben Sie für die Werte Gesundheit, Genuss, Nachhaltigkeit, Tierwohl und Wirtschaftlichkeit jeweils begründet an, ob diese die Handlungsoption „Bio“ in B1 einschränkend oder unterstützend beeinflussen.



06041-25

- A2 Erstellen Sie Ihre persönliche Werthierarchie zur Dilemma-Situation des Fallbeispiels unter Schritt 1. (Arbeitsblatt unter QR-/Mediencode 06041-25)

- A3 Entwickeln Sie zu folgenden Aussagen jeweils eine ethische Argumentation nach dem Muster **Tatsache – Meinung – Schlussfolgerung**:

- „Wenn sich alle vegetarisch ernähren würden, würde ein ganzer Wirtschaftszweig zusammenbrechen.“
- „Ich kaufe nur regionale und biologisch erzeugte Lebensmittel. Alles andere ist ethisch nicht vertretbar.“

- A4 Wählen Sie zwei Ernährungstrends (Handlungsoption) aus B1 aus und bewerten Sie diese kritisch in Hinblick auf ausgewogene und nachhaltige Ernährung. Berücksichtigen Sie dazu auch die Übersicht in B2.

- A5 Avocados kommen ursprünglich in den tropischen Regenwäldern in Zentralamerika vor. Heute werden Avocados u. a. auch im Mittelmeerraum, Australien, Neuseeland, USA, Südafrika und Südamerika kultiviert.

- Bewerten Sie den Verzehr von Avocado unter Einbeziehung der Werte Genuss, Gesundheit und Nachhaltigkeit. Recherchieren Sie dazu ggf. auch die Inhaltsstoffe von Avocado.
- Nennen Sie pflanzliche Lebensmittel mit ähnlichen Inhaltsstoffen (v. a. Fettgehalt), die regional produziert werden können.

Bedeutung der Makro- und Mikronährstoffe für:

- Energie- und Baustoffwechsel
- Regulations- und Steuerungsvorgänge
- Darm-Mikrobiom

Lebensstil, Bewegung, Freizeitgestaltung (Sport, Fernsehen), Hektik, Stress

kulturelle und soziale Einflüsse auf die Essgewohnheiten

Ernährungskonzept:
persönliche Gesundheit und nachhaltige Ressourcennutzung

Zusammensetzung der Nahrungsmittel:
Welches Fett? Welche Kohlenhydrate? Vitamine? Mineralsalze? Ballaststoffe? Zusatzstoffe?

Ökologischer Wert (z. B. geringer Kohlenstoffdioxid-Ausstoß, geringer Pestizidgehalt), Fairtrade

Prozess der Erzeugung und Verarbeitung von Nahrungsmitteln

- B2 Übersicht über die Faktoren, die für ein gesunderhaltendes und nachhaltiges Ernährungskonzept beachtet werden sollten.

Alles im Blick

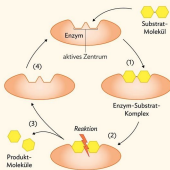
1 Funktionsweise von Enzymen (S. 80 – 81)

Enzyme sind **Biokatalysatoren**, die meist eine Proteinstruktur aufweisen. Sie sind in der Lage, die **Aktivierungsenergie** einer bestimmten Reaktion herabzusetzen und die **Reaktionsgeschwindigkeit** zu erhöhen. Enzyme nehmen an einer Reaktion teil, gehen aber unverändert wieder aus ihr hervor. Sie sind bereits in kleinen Mengen wirksam.

Enzyme besitzen in ihrer Molekülstruktur ein **aktives Zentrum**. Die Edukte einer enzymkatalysierten Reaktion nennt man **Substrate**. Nur bestimmte Substrate passen nach dem **Schlüssel-Schloss-Prinzip** in das aktive Zentrum, sodass sich ein **Enzym-Substrat-Komplex** ausbilden kann. Nach erfolgter Reaktion verlassen die **Produkte** das aktive Zentrum, und das Enzym steht für weitere Reaktionen zur Verfügung.

Bei der **enzymatischen Hydrolyse** von Stärke werden Stärke-Moleküle unter Aufnahme von Wasser-Molekülen in Maltose-Moleküle gespalten. Diese Reak-

tion wird von dem Enzym Amylase katalysiert. Auch die Moleküle anderer Nahrungsbestandteile werden durch enzymatische Hydrolyse gespalten.



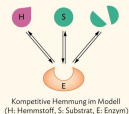
2 Spezifität und Hemmung von Enzymen (S. 82 – 83)

Enzyme weisen eine **Substratspezifität** auf, d. h. sie setzen nur bestimmte Substrate um. Ursache ist das für bestimmte Substrate passgenau geformte aktive Zentrum der Enzyme. Fehlt im Körper ein bestimmtes Enzym, so kann das zugehörige Substrat nicht umgesetzt werden. Manchen Menschen fehlt z. B. das Enzym Lactase. Sie können dann keinen Milchzucker abbauen.

Bindet ein Substrat an verschiedene Enzyme, können kleine Unterschiede in den aktiven Zentren unterschiedliche Reaktionen begünstigen. Die Eigenschaft der Enzyme, aus vielen möglichen Reaktionen nur eine bestimmte zu katalysieren, nennt man **Wirkungsspezifität**.

Die **Reaktionsgeschwindigkeit** einer enzymkatalysierten Reaktion wird von Temperatur, pH-Wert und Substratkonzentration beeinflusst. Normalerweise steigt die Reaktionsgeschwindigkeit mit zunehmender Substratkonzentration bis zu einem Maximalwert, bei dem die aktiven Zentren aller Enzyme besetzt sind. Eine Regelung von Enzymaktivitäten im Körper kann u. a. durch **Hemmstoffe** erfolgen.

Bei der **kompetitiven Hemmung** bindet ein Hemmstoff in Konkurrenz zum Substrat an das aktive Zentrum eines Enzyms. Der Hemmstoff wird selbst nicht umgesetzt, blockiert das Enzym jedoch für eine bestimmte Zeit. Bei der **allosterischen Hemmung** bindet der Hemmstoff an das allosterische Zentrum des Enzyms, sodass sich die Form des aktiven Zentrums verändert. Das Substrat kann nicht mehr an das Enzym binden. Die genannten Enzymhemmungen sind umkehrbar (reversibel).



3 Bedeutung der Verdauungssäfte (S. 86 – 87)

Die Nahrungsbestandteile können umso effizienter von Enzymen gespalten werden, je größer die zur Verfügung stehende Oberfläche ist. Bereits im Mund wird die Nahrung zerkleinert, wodurch sich deren **Oberfläche** vergrößert. Amylasen und Lipasen aus dem Mundspeichel können so besser an die entsprechenden Substrate gelangen. Im Magen führt der Kontakt von Proteinen mit der **Magensäure** zu Denaturierung. Die Molekülketten entfalten sich irreversibel, sodass sich die Gesamtoberfläche der Proteine vergrößert. Das Enzym Pepsin kann die Peptidketten anschließend besser erreichen und hydrolysieren.

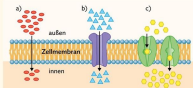
Im Dünndarm wird der Nahrungsbrei mit Sekreten aus Bauchspeicheldrüse und Gallenblase vermischt. Der **Bauchspeicheldrüsensaft** neutralisiert die Magensäure und erhält Verdauungsenzyme, z. B. Amylasen, Lipasen und Peptidasen wie Trypsin. Gallenflüssigkeit (**Galle**) dient als **Emulgator**. Die enthaltenen Gallensalze sind Tenside. Fett-Moleküle werden emulgiert und von den Teilchen der Gallensalze in **Micellen** eingeschlossen. Die Aufteilung in viele Fettportionen führt zu einer Vergrößerung der Oberfläche. Dadurch wird die Wechselwirkung mit fettabbauenden Enzymen (Lipasen) erleichtert.

4 Resorption, Transport und Speicherung (S. 88 – 89)

Nach der Verdauung gelangen die Nahrungsbestandteile in den Dünndarm, wo deren **Resorption** (Aufnahme) über die Darmschleimhaut in Blut und Lymphe erfolgt. Die Stoffe gelangen durch Diffusion (a) über Tunnelproteine (b) oder aktiv unter Mitwirkung spezifischer Carrier-Proteine (c) durch die Zellmembran.

Bei der **Fructose-Malabsorption** funktioniert ein Transportprotein nur eingeschränkt. Fructose wird nicht vollständig resorbiert und gelangt in den Dickdarm. Dort kommt es aufgrund der wasseranziehenden Wirkung der Fructose zu Durchfällen. Im Dickdarm werden dem Nahrungsbrei keine Enzyme zugesetzt. Stattdessen übernehmen etwa 400 verschiedene Arten von Bakterien, das **Darmmikrobiom**, die

Zersetzung einiger für den Menschen unverdaulicher Stoffe. Teilweise werden dabei Fettsäuren und Vitamine gebildet und diese sowie Mineralsalze und Wasser resorbiert. Das Darmmikrobiom ist je nach Ernährung sehr anpassungsfähig.



5 Lebensmittelauswahl (vgl. S. 92 – 97)

Um eine möglichst ausgeglichene Energiebilanz bei der Ernährung zu erreichen, sollte man den Energiegehalt von Nahrungsbestandteilen kennen. Häufig wird dazu die massenbezogene **Energiedichte** eines Nährstoffs oder Lebensmittels in kJ/g angegeben. Unter dem **Massenanteil w** versteht man den Quotient aus der Masse eines Inhaltsstoffes und der Gesamtmasse des Lebensmittels:

$$w = \frac{m(x)}{m(\text{Stoffgemisch})}$$

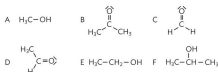
Für eine gesunde und ausgewogene Ernährung sollten Lebensmittel mit einer geringen Energiedichte und einem hohen Massenanteil an **essenziellen Nähr-**

ungsbestandteilen ausgewählt werden. Dies sind lebenswichtige Nahrungsbestandteile, die der Körper nicht selbst herstellen kann: Mineralsalze, viele Vitamine und Aminosäuren sowie einige ungesättigte Fettsäuren. Auch Wasser gehört dazu. **Ballaststoffe** sind unverdaulich, binden aber u. a. Wasser und sorgen für eine längere Verweildauer des Speisebreis in Magen und Darm.

Die Auswahl von Nahrungsmitteln sollte auch im Hinblick auf die **Nachhaltigkeit** erfolgen. So weisen z. B. Lebensmittel mit langen Transportwegen meist einen schlechten **ökologischen Fußabdruck** auf.

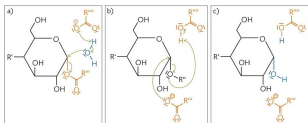
Zum Üben und Weiterdenken

A1 Das Enzym Alkoholdehydrogenase (ADH) katalysiert einen wichtigen Stoffwechselschritt beim Abbau von Alkohol im menschlichen Körper. Bei der ADH liegt keine Substratspezifität vor, sondern sogenannte Gruppenspezifität. Solche Enzyme setzen verschiedene Substrat-Moleküle mit der gleichen funktionellen Gruppe um. Im Fall der ADH werden primäre und sekundäre Alkohole zu entsprechenden Aldehyden bzw. Ketonen umgesetzt. Nachfolgend sind die Formeln einiger Edukt- und Produkt-Moleküle der von ADH katalysierten Reaktionen gezeigt.



- Benennen Sie alle gezeigten Moleküle.
- Identifizieren Sie unter den gezeigten Molekülen mögliche Substrat-Moleküle und die zugehörigen Produkt-Moleküle von ADH.
- Methanol ist für Menschen viel giftiger als Ethanol. Recherchieren Sie die Eigenschaften der entsprechenden Produkte der von ADH katalysierten Reaktion und begründen Sie die unterschiedlich starke Giftwirkung dieser beiden Alkohole.

A2 Das Enzym α -Amylase ist im Speichel vorhanden und katalysiert die hydrolytische Spaltung der glykosidischen Bindung zwischen den Glucose-Bausteinen im Stärke-Molekül. Untenstehend sind drei Momentaufnahmen des Reaktionsmechanismus gezeigt.



R'/R'' = Glucose-Bausteine
 R'/R'' = Aminocarbonsäure-Seitenketten

- Geben Sie die korrekte zeitliche Reihenfolge der drei Abbildungen an und ordnen Sie den Momentaufnahmen folgende Fachbegriffe zu: „Nukleophiler Angriff der Seitenkette“, „Freisetzung des Produktes“, „Nukleophiler Angriff des Wassers“.
- α -Amylase verliert im stark sauren Milieu des Magens die Wirksamkeit. Stellen Sie anhand der Abbildungen begründete Vermutungen über diesen Funktionsverlust an.

A3 In seltenen Fällen, z. B. wenn Medikamente eingenommen werden, wirken ein allosterischer und ein kompetitiver Hemmstoff gleichzeitig auf dasselbe Enzym. Stellen Sie anhand einer beschrifteten Skizze begründete Vermutungen darüber an, wie sich die beiden Arten von Hemmstoffen im beschriebenen Fall gegenseitig beeinflussen.

A4 Aus einer frischen Kartoffel werden drei Würfel von etwa 1,5 cm Kantenlänge hergestellt. Davon wird einer der Würfel in acht Teile zerteilt, ein anderer mit einer Raspel gerieben. Die drei Reagenzgläser werden mit dem großen Würfel, den acht kleinen Würfeln bzw. den Raspeln bestückt. Danach wird in jedes Reagenzglas Wasserstoffperoxidlösung zugegeben.

- Formulieren Sie eine Hypothese, die sich mit dem Versuch überprüfen lässt.
- Beschreiben Sie die Versuchsbeobachtungen und stellen Sie eine Vermutung zur Erklärung dieser auf.

A5 Die Zellen der Magenwand bestehen zu einem großen Teil aus Proteinen. Die im Nahrungsbrei vorkommenden Proteine werden im Magen durch das enthaltene Enzym Pepsin in kleine Polypeptid-Einheiten gespalten. Stellen Sie eine Hypothese auf, warum sich die Magenwand dabei nicht selbst verdaut.

A6 Im Labor stehen zwei unbeschriftete Glasflaschen mit klaren Flüssigkeiten. Es handelt sich um eine Glucose- und eine Fructose-Lösung. Planen Sie ein Experiment, mit dem Sie die Lösungen eindeutig identifizieren können.

- A7** Die Hauptbestandteile der Kuhmilch sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Bestandteil	Massenanteil
Wasser	87,3 %
Kohlenhydrate (Lactose)	4,6 %
Fette	3,9 %
Proteine	3,2 %

Wir sollten quantitative Analysen durchführen, da diese genauer sind als qualitative Analysen.

Jedes einzelne Produkt muss die Qualitätskontrolle durchlaufen, damit uns keine Mängel durchrutschen.

Um sicher zu gehen, sollten wir die Produkte stichprobenartig in Tierversuchen testen.

- a) Beschreiben Sie zwei Nachweisreaktionen, um zwei Hauptbestandteile von Milch nachzuweisen.
- b) 8 mL fettarme Milch werden in einem Reagenzglas mit 5 Tropfen Phenolphthaleinlösung versetzt. Dazu wird so lange Ammoniaklösung zugegeben, bis nach vorsichtigem Mischen eine deutliche Rosafärbung entsteht. Anschließend gibt man Pankreatinlösung hinzu. Die Lösung entfärbt sich. Erklären Sie anhand des Versuchs die Bedeutung von Pankreatin bei der Verdauung. (Hilfen unter QR-/Mediencode 06041-26)
- c) Das häufigste Kohlenhydrat in der Milch ist Lactose (Milchzucker). In den Molekülen der β -Lactose sind ein β -D-Galactose- und ein β -D-Glucose-Baustein 1,4-glykosidisch verknüpft. Zeichnen Sie die Strukturformel eines β -Lactose-Moleküls in der HAWORTH-Projektion.
- d) Beschreiben Sie die Folgen, wenn eine Person mit Lactose-Unverträglichkeit eine lactosehaltige Milch trinkt.
- e) Im Handel gibt es mittlerweile als Alternative lactosefreie Milchprodukte. Erklären Sie, wie diese Lebensmittel produziert werden.



06041-26

- AB** Betroffene mit Lactose-Unverträglichkeit haben
- ❖ nur selten von Geburt an einen Lactase-Mangel. Meist liegt erst im Erwachsenenalter eine genetisch bedingte Reduktion der Lactase-Enzymaktivität vor.
- Planen Sie ein Experiment zur Hypothese: „Ein ausgewachsenes Schwein produziert keine Lactase.“
- Hinweis: Das Enzymgemisch Pankreatin wird aus der Bauchspeicheldrüse von Schweinen gewonnen. (Hilfen unter QR-/Mediencode 06041-27)



06041-27

- A9** Die Firma *Süß und Lecker* möchte einen Trinkjoghurt herstellen, der für Personen mit Fructose-Malabsorption geeignet ist. In einer Besprechung sammeln die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Qualitätskontrolle Ideen für Produkttests, mit denen sichergestellt werden soll, dass der Trinkjoghurt keine Fructose enthält.

- a) Nehmen Sie kritisch Stellung zu den Vorschlägen.
- b) Beschreiben Sie Ursachen und Folgen einer Fructose-Malabsorption.

- A10** „Hoher Proteingehalt“ darf dann auf dem Produkt stehen, wenn mindestens 20 % der Energie des Lebensmittels aus den Proteinen stammen.

Energie und Nährwerte pro 100 g	High-Protein-Joghurt	konventioneller Joghurt
Energie	251 kJ	277 kJ
Protein	10,0 g	5,5 g
Kohlenhydrate	6,0 g	6,7 g
davon Zucker	4,0 g	6,7 g
Fett	0,3 g	1,5 g
davon gesättigte Fettsäuren	0,2 g	1,0 g
Salze	0,10 g	0,19 g

- a) Vergleichen Sie die obenstehenden Nährwertangaben und beurteilen Sie die Produkte hinsichtlich ihres Proteingehalts.
- b) Einige Verbraucherorganisationen kritisieren den Protein-Hype und bezeichnen diesen als „überflüssige Marketing-Masche“. Nehmen Sie begründet Stellung zu dieser Äußerung.
- c) Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt einem erwachsenen Menschen 0,8 g Protein pro kg Körpergewicht pro Tag zu sich zu nehmen. Überschüssige Proteine werden über die Nieren ausgeschieden. Treffen Sie eine Aussage für einen 80 kg schweren Menschen, ob er im Rahmen seiner ausgewogenen, täglichen Ernährung High-Protein-Produkte benötigt.
- A11** Verfechter des Ernährungstrends „Low Carb“ empfehlen nur eine geringe Aufnahme von Kohlenhydraten am Tag. Nehmen Sie zu diesem Trend kritisch Stellung.

Ziel erreicht?

Verfügen Sie über die in diesem Kapitel geforderten Kompetenzen? Lösen Sie die Aufgaben auf dem Arbeitsblatt unter QR-/Mediencode 06041-28 und bewerten Sie sich mithilfe der Tabelle rechts unten.



06041-28

Unter QR-/Mediencode 06041-29 finden Sie außerdem eine Lernanwendung zur digitalen Überprüfung der geforderten Kompetenzen.

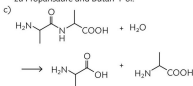


06041-29

KOMPETENZ A: Enzymreaktionen und deren Hemmung beschreiben

- A1** Entscheiden Sie, ob folgende Aussagen korrekt oder falsch sind, und verbessern Sie falls nötig falsche Aussagen.
- Der Substrat-Produkt-Komplex reagiert zum freien Enzym und dem freien Produkt-Molekül.
 - Wirkungsspezifität bedeutet, dass ein bestimmtes Enzym immer dieselbe chemische Reaktion katalysiert.
 - Die spezifische Bindung des Substrat-Moleküls an das aktive Zentrum eines Enzyms bezeichnet man als Wirkungsspezifität.

- A2** Entscheiden und begründen Sie, welche der folgenden Reaktionen Hydrolysereaktionen sind.
- Wasser und Ethen reagieren zu Ethanol.
 - Propansäurebutylester und Wasser reagieren zu Propansäure und Butan-1-ol.



- A3** Vergleichen Sie die kompetitive und die allosterische Hemmung, indem Sie die Tabelle vervollständigen.

	allosterischer Hemmstoff	kompetitiver Hemmstoff
Ähnlichkeit zwischen Substrat und Hemmstoff	-	-
Bindungsort des Hemmstoffes	-	-
Einfluss des Hemmstoffes auf das aktive Zentrum	-	-

KOMPETENZ B: Die Bedeutung der verschiedenen Verdauungssäfte erklären

- B1** Ernährungstipps in sozialen Medien greifen oft die Bedeutung des Kauens auf: „Gut gekaut ist halb verdaut“.
- Beurteilen Sie dieses Sprichwort.
 - Beschreiben und erklären Sie einen Versuch im Reagenzglas, mit dem nachgewiesen werden kann, dass Stärke enzymatisch „im Mund“ gespalten wird.
- B2** Beschreiben Sie einen Versuch, mit dem man die Funktion der Magensäure im Magensaft verdeutlichen kann.
- B3** Ein Versuch zeigt die Wirkung von Gallenflüssigkeit für die Fettverdauung im flüssigen Nahrungsbrei: Zwei Reagenzgläser **A** und **B** werden mit verschiedenen Flüssigkeiten befüllt (Farben in der Skizze modellhaft), anschließend gut geschüttelt und dann stehen gelassen. Skizze **3** zeigt die Ergebnisse nach 30 Minuten. Eine Rotfärbung des Indikators deutet auf die Spaltung der Fett-Moleküle hin.

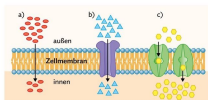
Reagenzglas	A	B
Ochsen-galle		X
Öl	X	X
Wasser	X	X
Bauch-speichel	X	X
Indikator	X	X

1 Durchführung	2 Start	3 Ergebnis

- Erklären Sie anhand der Versuchsergebnisse die Funktion von Gallenflüssigkeit (Galle) als Verdauungssaft.
- Erklären Sie unter Verwendung einer Skizze, wie Galle die Spaltung der Fett-Moleküle beschleunigt. Benennen Sie auch das Prinzip, das hier wirksam ist.

KOMPETENZ C: Die Resorption von Nahrungsmitteln beschreiben

- C1** Definieren Sie den Begriff Resorption.
C2 Die folgende Abbildung zeigt die schematische Darstellung verschiedener Transportformen durch die Zellmembran:



Beschreiben Sie anhand der Abbildung die verschiedenen Transportformen durch die Zellmembran und geben Sie jeweils ein Beispiel an.

KOMPETENZ D: Individuelle Unterschiede bei Verdauung und Resorption begründen

- D1** Erläutern Sie, warum Äpfel von einer unter Fructose-Malabsorption betroffenen Person nur mit Vorsicht genossen oder ganz gemieden werden sollten.
 Hinweis: Äpfel enthalten im Schnitt ca. 5,7 g Fructose auf 100 g Apfel.

D2 „Man ist, was man isst.“

Stellen Sie einen Zusammenhang zwischen diesem Spruch und dem Darmmikrobiom her. Geben Sie dabei an, was man unter einem Darmmikrobiom versteht und erklären Sie die Bedeutung des Darmmikrobioms.

KOMPETENZ E: Lebensmittel bewusst auswählen im Hinblick auf Ausgewogenheit und Nachhaltigkeit

- E1** Beurteilen Sie die Gültigkeit der folgenden Aussagen im Hinblick auf eine ausgewogene und nachhaltige Ernährung:

Mit unserer Ernährung beeinflussen wir nicht nur unserer körperliche Gesundheit, sondern auch die Wirtschaft und das Klima.

Gemüse zu den Nudeln brauche ich nicht. Die Nudeln schmecken mit Käsesoße sehr gut und sättigen auch viel besser.

- E2** Nennen Sie fünf Faktoren, die bei der Ernährung den ökologischen Fußabdruck beeinflussen.

Vergleichen Sie ihre Antworten mit den Lösungen auf Seite 153 f. und kreuzen Sie auf dem Arbeitsblatt an.

Kompetenz	ja	nein	zum Nachlesen
A Enzymreaktionen und deren Hemmung beschreiben	---	---	S. 80 – 83
B Die Bedeutung der verschiedenen Verdauungssäfte erklären	---	---	S. 86 – 87
C Die Resorption von Nahrungsmitteln beschreiben	---	---	S. 88 – 89
D Individuelle Unterschiede bei Verdauung und Resorption begründen	---	---	S. 82, 88
E Lebensmittel bewusst auswählen im Hinblick auf Ausgewogenheit und Nachhaltigkeit	---	---	S. 92 – 97

Klausuraufgaben

T1 Enzymkatalyse am Beispiel der Hexokinase

Das Enzym Hexokinase spielt eine wichtige Rolle beim Glucosestoffwechsel. Es katalysiert die Übertragung einer Phosphat-Gruppe vom Adenosintri-phosphat-Molekül (ATP-Molekül) auf die Hydroxy-Gruppe des Kohlenstoff-Atoms an Position 6 des Glucose-Moleküls. B1 zeigt ein Glucose-Molekül unmittelbar vor dem Andocken an das Enzym. Das Glucose-Molekül bindet so an das aktive Zentrum, dass die Hydroxy-Gruppe am Kohlenstoff-Atom C6 frei bleibt.



B1 Das Enzym Hexokinase unmittelbar vor dem Andocken eines Glucose-Moleküls

AUFGABEN

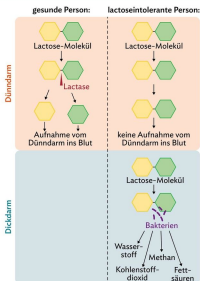
- A1** Erläutern Sie das Schlüssel-Schloss-Prinzip anhand der Hexokinase-Reaktion.
- A2** Erklären Sie, weshalb die Hydroxy-Gruppe am Kohlenstoff-Atom C6 nach dem Andocken des Glucose-Moleküls frei bleiben muss.
- A3** Erklären Sie, weshalb die Bindungen des Glucose-Moleküls an das aktive Zentrum nicht zu stark sein dürfen.

T2 Lactose-Unverträglichkeit und Fructose-Malabsorption

Lactose ist ein Disaccharid, dessen Moleküle aus einem Glucose- und einem Galactose-Baustein aufgebaut sind. Etwa 20 Prozent der Menschen in Deutschland leiden unter einer Lactose-Unverträglichkeit. Sobald sie größere Mengen Milchprodukte zu sich nehmen, treten deutliche Symptome auf. Diese Lactose-Intoleranz kann genetisch bedingt sein oder z. B. kurzzeitig nach Darmoperationen auftreten.

AUFGABEN

- A1** Vergleichen Sie anhand von B2 die Verwertung von Lactose im Körper einer gesunden und einer lactoseintoleranten Person und leiten Sie mögliche Beschwerden einer Lactose-Unverträglichkeit ab.
- A2** Stellen Sie die Lactose-Unverträglichkeit der Fructose-Malabsorption in einer analogen Skizze gegenüber und notieren Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede.
- A3** Beim Vorliegen einer Lactose-Unverträglichkeit könnte man das Enzym Lactase entweder direkt der Milch vor dem Trinken zusetzen oder erst eine Lactase-Tablette einnehmen und dann die Milch trinken. Stellen Sie eine passende Hypothese auf und entwerfen Sie einen Versuch, mit dem Sie diese überprüfen können.



B2 Verwertung der Lactose im Dünndarm und im Dickdarm bei einer gesunden und einer lactoseintoleranten Person

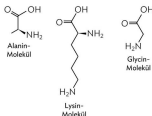
T3 Der Verdauungstrakt

In den ersten Abschnitt des **Dünndarms**, den Zwölffingerdarm, münden die Gänge zweier wichtiger Verdauungsdrüsen, der **Bauchspeicheldrüse** (Pankreas) und der Leber. Die Bauchspeicheldrüse produziert etwa zwei Liter basischen **Bauchspeicheldrüsensaft** (Bauchspeichel) pro Tag, der den stark sauren Nahrungsbrei aus dem **Magen** neutralisiert. Mit ihm gelangen auch die Enzyme für die weitere Verdauung der Nahrungsbestandteile zum Nahrungsbrei. Die im Magen zu **Polypeptiden** (kürzeren Aminosäureketten) gespaltenen Proteine werden durch die Enzyme des Bauchspeichels (z. B. **Trypsin**, **Chymotrypsin**) in ihre einzelnen **Aminosäuren** gespalten. **Amylasen** spalten die noch vorhandene **Stärke** zu **Maltose**, die wiederum von **Maltasen** zu **Glucose** abgebaut wird. **Lipasen** verdauen die restlichen **Fette**. Für eine gesunde Darmtätigkeit wird eine ballaststoffreiche Kost empfohlen. Die unverdaulichen **Ballaststoffe** dienen dem **Darmmikrobiom** als Nahrung. Zudem nehmen sie viel Wasser auf und vergrößern so das Volumen des Speisebreis. Dies fördert die Peristaltik und aufgrund des größeren Drucks kommt es zu einer regelmäßigeren Entleerung des Darms.

AUFGABEN

- A1** Ordnen Sie die fett gedruckten Wörter aus dem Text passenden Überbegriffen zu.

- A2** Stellen Sie die Informationen aus dem Text als Skizze des Verdauungstrakts dar.
- A3** Erklären Sie die Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen pH-Werten im Verdauungstrakt und den jeweiligen Verdauungsenzymen.
- A4** Die Skelettformeln für die Moleküle der Aminosäuren Alanin, Lysin und Glycin lauten:



Notieren Sie die Skelettformel des Tripeptid-Moleküls aus diesen drei Aminosäuren in der Reihenfolge Alanin – Lysin – Glycin. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für dessen hydrolytische Spaltung mit Trypsin zwischen dem Lysin- und dem Glycin-Baustein.

T4 Fleischimitat, Veggie oder doch Fleisch?

Die Diskussion über gesunde und nachhaltige Ernährung wird schon seit vielen Jahren geführt. Dabei wird häufig der Konsum oder Nicht-Konsum von Fleisch in den Fokus der Debatte gerückt. In diesem Zusammenhang geht es nicht nur um das Tierwohl, sondern auch um die Inhaltsstoffe der diversen Produkte (**B3**) und Auswirkungen der Produktion auf die Umwelt und auf Lebewesen, z. B. durch lange Transportwege, die Produktion von Treibhausgasen, Pflanzendüngung und nötige Waldrodungen.

AUFGABEN

- A1** Stellen Sie anhand der Angaben in der Tabelle jeweils einen Vor- und einen Nachteil im Hinblick auf die Ernährung für einen der Bürger im Vergleich zu den jeweils anderen beiden Bürgern heraus.
- A2** Bewerten Sie anhand einer ethischen Analyse basierend auf je zwei Pro- und Contra-Argumenten und unter Berücksichtigung selbst gewählter Werte, ob der Konsum von Rindfleisch durch den Menschen eingeschränkt werden sollte.

- A3** Um den Sinnesindruck eines vollwertigen Rindfleisch-Ersatzes hervorzurufen, müssen Lebensmittelchemikerinnen- und chemiker insbesondere die in den pflanzlichen Alternativen vorhandenen Proteine anpassen. Schlagen Sie drei verschiedene Methoden zur Modifikation dieser Proteine vor.

Energie / Nährwerte pro 100 g	Fleischimitat-Pattie	Veggie-Pattie	Rindfleisch-Pattie
Energie	600–1.300 kJ	600–1.300 kJ	ca. 1.000 kJ
Fett	9–18 g	6–13 g	14–20 g
gesättigte Fettsäuren	1–9 g	1–2 g	6 g
Proteine	12–18 g	5–26 g	23 g
Kohlenhydrate	2–6 g	7–28 g	0 g
Ballaststoffe	3–6 g	3–9 g	0 g
Mineralsalze	1–2 g	1–2 g	1–2 g

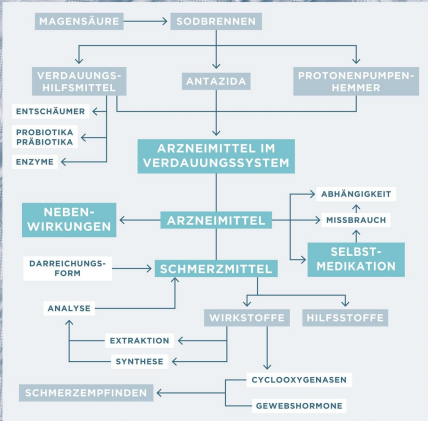
B3 Energie und Nährwerte von Fleischimitat-, Veggie- und Rindfleisch-Patties

4 Pharmazie - Arzneimittel im Verdauungssystem und Schmerzmittel





Arbeitsblatt unter
QR-/Mediencode
06041-30



Startklar?

Schätzen Sie Ihre Kompetenz in den Bereichen A bis D ein und prüfen Sie sich anhand der entsprechenden Aufgaben (Arbeitsblatt unter QR-/Mediencode 06041-31).



06041-31

Unter QR-/Mediencode 06041-32 finden Sie außerdem eine Lernanwendung zur digitalen Überprüfung der geforderten Kompetenzen.



06041-32

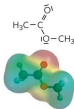
Kompetenz	sehr gut	gut	schwierig
A Das Säure-Base-Konzept auf Neutralisationen anwenden und Titrationen auswerten	---	---	---
B Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erläutern	---	---	---
C Die Estersynthese und -hydrolyse in Strukturformeln darstellen	---	---	---
D Optisch aktive Stoffe identifizieren	---	---	---
E Die Funktionsweise von Enzymen erklären	---	---	---

KOMPETENZ A: Das Säure-Base-Konzept auf Neutralisationen anwenden und Säure-Base-Titrationen auswerten

- A1** Stellen Sie die Reaktionsgleichungen in Ionschreibweise auf und benennen Sie die durch Eindampfen der Lösung entstehenden Salze.
- Schwefelsäurelösung reagiert mit Natriumhydroxidlösung.
 - Salpetersäurelösung reagiert mit Bariumhydroxidlösung.
- A2** Begründen Sie mit Fachbegriffen, ob es sich bei der Neutralisationsreaktion um eine Elektronenübertragungsreaktion handelt.
- A3** Bei der Titration von 15 mL salzsaurer Lösung werden bis zum Umschlag des Indikators Phenolphthalein 25 mL Kaliumhydroxidlösung der Konzentration 0,05 mol/L verbraucht.
- Berechnen Sie die Masse an Kaliumhydroxid, die zur Herstellung von 100 mL Kaliumhydroxidlösung benötigt wird.
 - Berechnen Sie die Stoffmengenkonzentration der Probelösung.

KOMPETENZ B: Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erläutern und anwenden

- B1** Beschreiben und erklären Sie die unterschiedliche Elektronendichteverteilung innerhalb des Ethansäuremethylester-Moleküls. Gehen Sie dabei auf die Polarität der einzelnen Bindungen sowie des Gesamt-Moleküls ein.
- B2** Die Siedetemperatur von Propansäuremethylester (79,8 °C) ist niedriger als die von Pentan-1-ol (138 °C), trotz ähnlicher Molekülmassen. Erklären Sie diese Tatsache auf Teilchenebene.
- B3** In der biochemischen Forschung und medizinischen Diagnostik spielt die Methode der Dünnschichtchromatografie eine immer größere Rolle. Erläutern Sie dieses Stofftrennverfahren anhand einer Skizze.



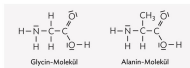
Kompetenz C: Die Estersynthese und -hydrolyse in Strukturformeln darstellen

- C1** Begründen Sie, dass es sich bei der Esterspaltung um eine Hydrolyse handelt.
- C2** Für den Geschmack von Ananas ist maßgeblich der Aromastoff Butansäuremethylester verantwortlich.

- Nennen Sie geeignete Edukte zur Bildung des Esters.
- Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Synthese des Esters.
- Benennen Sie den zugrundeliegenden Reaktionstyp und erklären Sie ihn anhand der Reaktionsgleichung aus b).
- Die Umkehrreaktion der Estersynthese ist die Esterhydrolyse. Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus zur säurekatalysierten Hydrolyse von Butansäuremethylester.

KOMPETENZ D: Optisch aktive Stoffe identifizieren

- D1** Untersuchen Sie die Moleküle von Alanin (2-Aminopropansäure) und Glycin (2-Aminoethansäure) auf ihre Chiralität und begründen Sie Ihre Ergebnisse.



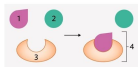
- D2** Begründen Sie, dass es vom Milchsäure (2-Hydroxypropansäure)-Molekül zwei Enantiomere, das D- und das L-Milchsäure-Molekül, gibt.



- D3** Erläutern Sie, ob es sich beim Propan-1,2,3-triol-Molekül (Glycerin-Molekül) um ein chirales Molekül handelt.

KOMPETENZ E: Die Funktionsweise von Enzymen erklären

- E1** Es gibt eine Vielzahl an Enzymen, die unterschiedliche Reaktionen katalysieren. Allen Enzymen gemeinsam ist es, dass sie wirkungs- und substratspezifisch sind. Erklären Sie diesen Sachverhalt.
- E2** Die Aktivität von Verdauungsenzymen ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Nennen Sie drei verschiedene Faktoren, welche die Enzymaktivität beeinflussen.
- E3** Für die Verdauung der Proteine bedarf es einer Vielzahl verschiedener Enzyme. Begründen Sie diese Tatsache.
- E4** Gezeigt ist die Wirkweise eines Hemmstoffes:



- Beschriften Sie die Zahlen 1 bis 4 mit Fachbegriffen.
- Nennen Sie die Art der dargestellten Hemmung.

Vergleichen Sie Ihre Antworten mit den Lösungen auf den Seiten 154 ff. und geben Sie sich die entsprechende Punktzahl.

Kompetenz	sehr gut	gut	schwierig	zum Nachlesen
A Das Säure-Base-Konzept auf Neutralisationen anwenden und Titrations auswerten	13 – 11	10 – 8	7 – 4	S. 11 – 12
B Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erläutern und anwenden	16 – 13	12 – 9	8 – 5	S. 10 – 11, 14
C Die Estersynthese und -hydrolyse in Strukturformeln darstellen	15 – 12	11 – 8	7 – 4	S. 14
D Optisch aktive Stoffe identifizieren	10 – 8	7 – 5	4 – 3	S. 42 – 44
E Die Funktionsweise von Enzymen erklären	10 – 8	7 – 5	4 – 3	S. 80, 82 – 83



4.1 Magensäure: Sodbrennen und Medikamente

Wenn Magensäure in die Speiseröhre aufsteigt, kann es zu starken Beschwerden und Entzündungen kommen. Dem sogenannten Sodbrennen kann man mit verschiedenen Arzneimitteln entgegenwirken. Wie wirken diese Medikamente?

4.1.1 Versuche und Material

V Wirkung von Antazida



Der Magen hat eine Schutzschicht gegen saure Lösungen, die Speiseröhre nicht. Gelangt Magensäure (salzsaure Lösung) in die Speiseröhre, führt dies zu Sodbrennen. Wie können Medikamente dagegen helfen?

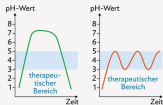
V1 Versetzen Sie 15 mL salzsaure Lösung ($c = 1 \text{ mol/L}$) mit Universalindikator und verteilen Sie die Lösung auf drei Reagenzgläser (RG). Geben Sie unter ständigem Rühren in RG 1 eine Spatelspitze Natriumhydrogencarbonat, in RG 2 eine Spatelspitze Calciumcarbonat und Magnesiumcarbonat und in RG 3 eine Spatelspitze Hydroxalcit ($\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}\text{CO}_3 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$).

Hinweis: Es handelt sich hierbei um die Wirkstoffe bekannter Medikamente.

AUSWERTUNG

- Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
- Stellen Sie für die Reaktionen in **RG 1** und **RG 2** jeweils eine Reaktionsgleichung auf und nennen Sie den Reaktionstyp der Reaktionen.
- Recherchieren Sie die Wirkung und Nebenwirkungen von Antazida unterschiedlicher Zusammensetzung.

- d) Schichtgitterantazida (**RG 3**) haben eine Gitterstruktur, in der Aluminium- und Magnesiumionen gebunden sind. Vergleichen Sie mithilfe von **B1** die Wirkungsweise eines Schichtgitterantazids mit der von herkömmlichen Antazida.



B1 Wirkweise von Antazida

Hinweis: Als therapeutischen Bereich bezeichnet man den Bereich der Plasmakonzentration eines Arzneimittels, bei dem bei der Mehrzahl der Patienten eine ausreichende Wirkung beobachtet wird.

ENTSORGUNG: A

V Nebenwirkungen von Antazida

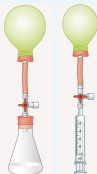


Antazida können unterschiedliche Wirkstoffe haben. Wirkt sich das auch auf die Nebenwirkungen aus?

V2 Präparieren Sie einen leeren Luftballon wie in **B2** (links) gezeigt mit einem Lochstopfen mit Glasrohr, Schlauchstück und Dreiwegehahn. Befüllen Sie einen 100-mL-Erlenmeyerkolben mit 25 mL salzsaurer Lösung ($c = 2 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$) und geben Sie eine pulverisierte Tablette eines Antazidums hinzu. Verschließen Sie den Erlenmeyerkolben sofort gasdicht mit dem präparierten Ballon und öffnen Sie die Dreiwegehahn.

Schließen Sie am Ende der Reaktion den Dreiwegehahn und tauschen Sie den Erlenmeyerkol-

ben gegen eine Spritze (**B2**, rechts). Überführen Sie das Gas in die Spritze.



B2 Versuchsaufbau

Führen Sie den Versuch mit verschiedenen Antazida durch.

(Video zum Versuch unter QR-/Mediencode 06041-39)



06041-39

AUSWERTUNG

- Notieren Sie die Gasvolumina, die bei der Reaktion der Antazida mit salzsaurer Lösung entstanden sind.
- Stellen Sie eine begründete Vermutung über das Zustandekommen der unterschiedlichen Gasvolumina auf. Nutzen Sie hierfür Reaktionsgleichungen.
- Beurteilen Sie die Verwendung von Antazida bei Sodbrennen.

ENTSORGUNG: A

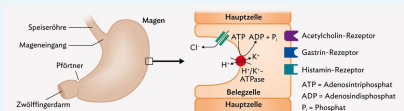
M Bildung der Magensäure – Protonenpumpen in den Belegzellen

M3 Die Magenschleimhaut produziert täglich zwischen 2 und 3 Liter Magensaft. Dessen Hauptbestandteil ist die Magensäure (salzsaurer Lösung). Spezielle Drüsenzellen der Magenwand produzieren die saure Lösung mithilfe der Protonenpumpe H^+/K^+ -ATPase.

Die Ausschüttung der Magensäure wird dabei durch die Wirkung verschiedener Botenstoffe geregelt: Acetylcholin, Gastrin und Histamin regen die Produktion der salzsaurer Lösung in den Belegzellen an.

AUSWERTUNG

- Erläutern Sie an einem in **B3** gezeigten Rezeptor das Schlüssel-Schloss-Prinzip bei der Bildung von Magensäure.
- Beschreiben Sie mithilfe von **B3** die Bildung von Magensäure auf Teilchenebene.
- Erklären Sie anhand von **B3** die Wirkweise von Protonenpumpen-Hemmern.
- Exkurs: Recherchieren Sie genauere Informationen zu den im Text genannten Botenstoffen.



B3 Die Regulation der Magensäurebildung und deren Sekretion in den Mageninnenraum

4.1.2 Magensäure und Sodbrennen

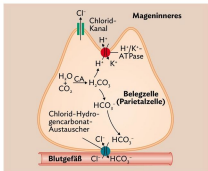
Der Magensaft

Die Aufnahme von Nahrung dient hauptsächlich der Versorgung des Körpers mit Baustoffen und der Energieversorgung der Zellen. Hierfür müssen Proteine, Kohlenhydrate und Fette aus der Nahrung während des Verdauungsprozesses in ihre Bestandteile gespalten werden (vgl. Kap. 3.2).

Bereits im Mund wird die Nahrung mit Speichel versetzt und erste Makromoleküle werden enzymatisch verarbeitet. Der Nahrungsbrei gelangt dann durch die Speiseröhre in den Magen, wo die Nahrungsbestandteile weiter verwertet werden. Hierfür wird der Nahrungsbrei mit **Magensaft (B1)** vermischt, dessen Hauptbestandteil neben Wasser, Pepsinogen bzw. Pepsin, Schleim (Muzine), dem Intrinsic-Factor und Hydrogencarbonat-Anionen die **Magensäure** ist (vgl. S. 86).

Die Bildung von Magensäure

Die Magensäure wird von speziellen Drüsenzellen, den **Belegzellen** (= Parietalzellen), in der Schleimhaut des Magens gebildet (B2). Hierfür sind Protonen und Chlorid-Ionen erforderlich. Die Belegzellen besitzen **Protonen/Kalium-Pumpen** (= H^+/K^+ -ATPase). Das sind Enzyme, die unter ATP-Verbrauch Protonen in das Mageninnere transportieren und dafür Kalium-Ionen aufnehmen. Die Protonen wurden hierfür mittels des Enzyms Carboanhydrase (CA) aus Wasser- und Kohlenstoffdioxid-Molekülen gebildet. Dabei entstehen auch Hydrogencarbonat-Anionen. Diese werden über einen **Chlorid-Hydrogencarbonat-Austauscher** aus den Zellen transportiert, während Chlorid-Ionen aus dem Blutplasma in die Zellen gelangen. Sie gehen über einen Chlorid-Kanal in das Mageninnere über. Zusammen mit den Protonen und Wasser entsteht im Magen eine salzsäure Lösung.

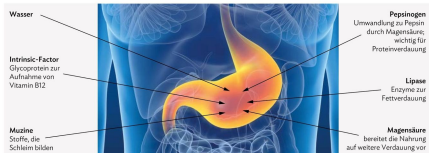


B2 Schematischer Bau einer Belegzelle und vereinfachte Darstellung der für die Bildung von Magensäure relevanten Vorgänge auf der Teilchenebene

Schutz des Magens

Die Magensäure ist verantwortlich für den stark sauren pH-Wert im Magen (vgl. S. 81). Dieser liegt bei etwa 2 bis 4, im nüchternen Zustand zwischen 1 und 1,5. Aufgabe der sauren Lösung ist die Aktivierung von Pepsinogen zum proteinspaltenden Enzym Pepsin, die Abtötung von Mikroorganismen und die Denaturierung von Nahrungsproteinen.

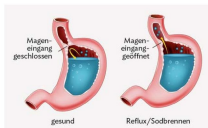
Die Magenwand ist vor der sehr hohen Säurekonzentration geschützt. Drüsen der Magenschleimhaut produzieren einen zähen, schützenden Schleim (Muzine), der die Magenwand überzieht. Dieser Schleim enthält Hydrogencarbonat-Ionen, die die Magensäure neutralisieren, bevor die saure Lösung die Magenwand erreichen kann.



B1 Der Magen und die Bestandteile des Magensafts

Sodbrennen

Im Gegensatz zum Magen kann die Speiseröhre keine Muzine herstellen, die die Schleimhaut vor einer Reizung durch die Magensäure schützen. Gelangt Magensaft durch den normalerweise verschlossenen Mageneingang in die Speiseröhre, kann dies zu **Sodbrennen (B3)** führen. Sodbrennen tritt häufig nach einem ausgiebigen Essen, beim Bücken oder im Liegen bzw. während körperlicher Belastung auf. Es äußert sich als brennendes Gefühl, das vom Bauchraum aus beginnend hinter dem Brustbein nach oben in Richtung Hals und Rachen strahlt. Weitere Symptome können ein schlechter Geschmack im Mund, Zahnschmerzen und Magengeräusche sein. Oft kündigt sich das Aufstoßen durch ein starkes Völlegefühl mit Übelkeit und Brechreiz an. Wirkt die Magensäure häufiger oder läng andauernd durch häufiges Aufstoßen auf die Schleimhaut der Speiseröhre ein, dann kann sich diese dauerhaft entzünden und Narben oder Geschwüre bilden.

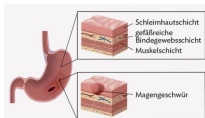


B3 Sodbrennen

Magengeschwür

Ein lokaler Defekt in der Schleimhaut des Magens kann die isolierende Schleimschicht schwächen. An solchen Stellen kann die Magensäure die Magenwand schädigen und es kann sich ein **Magengeschwür (Ulcus ventriculi)** bilden (**B4**). Meist entsteht ein Magengeschwür durch einen Überschuss an Magensäure oder dem Bakterium *Helicobacter*

pylori (vgl. S. 79). Dieses Bakterium kann sich trotz des sauren Milieus des Magens stark vermehren und die Magenschleimhaut schwächen. Auch Medikamente, Stress oder Alkohol können der Magenschleimhaut schaden und so die Bildung eines Magengeschwürs begünstigen.



B4 Gesunde Magenschleimhaut (rechts oben) und Schleimhaut mit Magengeschwür (rechts unten)

Das klassische Symptom eines Magengeschwürs ist ein stechender Schmerz unterhalb des Brustbeins und des linken Brustkorbs, wo der Magen sitzt. Dieser Schmerz ist jedoch eher unspezifisch und kann auch andere Ursachen haben. Sollte er häufiger oder sogar im Zusammenhang mit Blutungen des Stuhls oder von Erbrochenem auftreten, sollte zeitnah ein Arzt aufgesucht werden. Eine Veränderung der Magenschleimhaut infolge eines Magengeschwürs kann dann beispielsweise mithilfe einer Magenspiegelung festgestellt werden.

Die **Magensäure** ist ein wichtiger Bestandteil des Magensafts, der von den **Belegzellen** produziert wird. Die Magenwand ist durch eine Schleimschicht vor der ätzenden Wirkung der Magensäure geschützt. Der Mageneingang sorgt dafür, dass die Magensäure nicht in die Speiseröhre aufsteigen kann. Verschießt der Mageneingang sich nicht mehr richtig oder ist die Schleimschicht der Magenwand defekt, kann es zu **Sodbrennen** oder **Magengeschwüren** kommen.

AUFGABEN

- A1** Für die Bildung eines Magengeschwürs können unterschiedliche Ursachen verantwortlich sein. Recherchieren Sie zwei Ursachen sowie Symptome und Behandlungsmöglichkeiten.
- A2** Der Konsum von Alkohol und Zigaretten kann das Sodbrennen-Risiko steigern. Recherchieren Sie Gründe hierfür.
- A3** Menschen, die beruflich oder privat häufig Stress haben, leiden oft unter Sodbrennen. Informieren Sie sich im Detail über Symptome, Ursachen und Risikofaktoren von stressbedingtem Sodbrennen.
- A4** Geben Sie eine begründete Vermutung an, was bei einer zu hohen und bei einer zu niedrigen Produktion von Magensäure im Magen passiert.

4.1.3 Medikamente – Wirkung und Nebenwirkung

Behandlungsmöglichkeiten bei Sodbrennen

Bei vielen der unter Sodbrennen oder einem Magengeschwür leidenden Menschen reicht die Vermeidung von Stresssituationen und eine Veränderung der Ernährungsgewohnheiten zur Besserung aus. Manchmal hilft es bereits, die Essensmenge zu verringern oder auf bestimmte Lebensmittel zu verzichten bzw. weniger Alkohol zu trinken. Hilft das nicht, gibt es auch verschiedene Medikamente, um die Beschwerden zu lindern.

Antazida

Hilft eine Veränderung der Lebens- und Essgewohnheiten nicht aus, um das Sodbrennen zu therapieren, kann die Einnahme von **Antazida** helfen (**B5**).



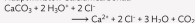
B5 Verschiedene Darreichungsformen von Antazida; links: Tabletten, rechts: Gel

Antazida enthalten Arzneistoffe, die zwar die Magensäure **neutralisieren** (**V1**), aber die natürliche Säureproduktion nicht beeinflussen. Es handelt sich um die Salze einer Säure oder um eine Base. Der Wirkmechanismus der Medikamente liegt also unter anderem in der Erhöhung des pH-Wertes im Magen. Die meisten in Apotheken angebotenen Antazida sind Mischpräparate aus verschiedenen Wirkstoffen wie etwa eine Mischung aus Calcium- und Magnesiumcarbonat (**B6**).

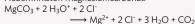
Wirkstoff Natriumhydrogencarbonat:



Hauptwirkstoff Calciumcarbonat:



Nebenwirkstoff Magnesiumcarbonat:



B6 Reaktionsgleichungen zur Funktionsweise verschiedener Antazida

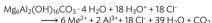
Risiken und Nebenwirkungen

Antazida reagieren mit der Magensäure unter Freisetzung von Kohlenstoffdioxid (**V2**, **B6**). Das kann unter

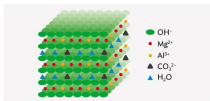
anderem Beschwerden wie Völlegefühl, Aufstoßen oder Blähungen auslösen. Zudem steigt der pH-Wert im Magen stark an, was zu einer erneuten Säureproduktion führt, die die Beschwerden verstärken kann. Aus diesem Grund werden Antazida dieser Art heute nur zur kurzfristigen Therapie akuter Beschwerden eingesetzt.

Schichtgitterantazida

Der Wirkstoff Hydrotalcit in **Schichtgitterantazida** ist meist besser verträglich als die Wirkstoffe in herkömmlichen Antazida. Bei der Reaktion dieses Wirkstoffes mit Magensäure wird im Vergleich zu herkömmlichen Antazida nur sehr wenig Kohlenstoffdioxid gebildet (**V2**):



In der Gitterstruktur der Hydrotalcit-Verbindung sind Aluminium- und Magnesium-Ionen fest gebunden (**B7**). Die Ionen werden nur im sauren Milieu bis zu einem pH-Wert von 4,5 aus den Randschichten des Kristallgitters gelöst. Mit zunehmendem pH-Wert sinkt die Löslichkeit von Hydrotalcit, sodass eine Anhebung des pH-Wertes in den basischen Bereich nicht möglich ist (**V1**).



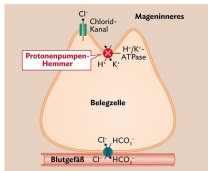
B7 Aufbau des Hydrotalcit-Schichtgitters

Protonenpumpen-Hemmer

Protonenpumpen-Hemmer (**M3**) sind Arzneistoffe, die die Bildung von Magensäure vermindern. Die Medikamente werden in Form von magensaftresistenten Tabletten oder Kapseln eingenommen, da die enthaltenen Arzneistoffe säureempfindlich sind. Nur so gelangen die Präparate unbeschädigt durch den Magen, sodass die Arzneistoffe im Dünndarm resorbiert werden können. Über den Blutkreislauf gelangen sie in die Belegzellen der Magenschleimhaut (**B2**). Dort werden die Arzneistoffe durch die Protonen der Belegzellen in eine aktive Form umgewandelt.

Die aktivierte Form der Arzneistoffe bindet an das Enzym H^+/K^+ -ATPase, wodurch die Protonen/Kalium-Pumpe irreversibel blockiert wird (**B8**). Das hat zur Fol-

ge, dass die Freisetzung von Protonen in den Magen gehemmt und die Säureproduktion verringert wird. Der pH-Wert des Magensaftes steigt an, wodurch dessen Aggressivität gemildert wird. Magenwandverletzungen (B3) können so schneller abheilen. Nach etwa drei Tagen werden neue Protonen/Kalium-Pumpen hergestellt und in die Belegzellen-Membran eingebaut.



B8 Vereinfachte Darstellung der Wirkungsweise der Protonenpumpen-Hemmer in einer Belegzelle auf der Teilchenebene

Nebenwirkungen von Protonenpumpen-Hemmern

Wegen ihrer guten Wirksamkeit und vermeintlich harmlosen **Nebenwirkungen** wie beispielsweise Schwindel, Kopfschmerzen und Müdigkeit, werden Protonenpumpen-Hemmer oft leichtfertig eingesetzt. Sie zählen zu den weltweit am häufigsten verordneten Medikamenten. Doch die Einnahme kann auch Schlafstörungen, Veränderungen der Haut- bzw. Leberwerte und Auswirkungen auf die Mikroorganismen im Darm zur Folge haben. Vor allem vor einer dauerhaften Anwendung wird

mittlerweile gewarnt. Es ist möglich, dass der Körper dadurch einige Mikronährstoffe schlechter aufnimmt, da beispielsweise bestimmte Vitamine, Calcium, Magnesium und Eisen ein saures Milieu benötigen, um resorbiert zu werden. Zudem werden Bakterien aus der Nahrung seltener durch die Magensäure abgetötet und können sich infolgedessen im Darm ansiedeln. Das würde unter anderem Durchfall verursachen. Die Medikamente stehen außerdem in Verdacht, Allergien zu verstärken oder sogar auszulösen, denn neben Bakterien können auch Allergene durch die geblockte Magensäureproduktion ungehindert in den Darm vordringen. Obwohl viele Protonenpumpen-Hemmer rezeptfrei in der Apotheke erhältlich sind, sollten sie also nur auf ärztliche Anweisung eingenommen werden.

INFO

Arzneimittel und Mikronährstoffe benutzen im menschlichen Organismus bei der Resorption, Verteilung, Metabolisierung und Elimination die gleichen Transport- und Stoffwechselwege. Werden Arzneimittel eingenommen, besteht daher immer das Risiko für Interaktionen mit dem Stoffwechsel essenzieller Mikronährstoffe. Hierdurch kann sowohl die Wirkung eines Arzneimittels als auch die Funktion eines Vitamins oder Minerals gestört werden.

Magensäure kann durch die ätzende Wirkung zu Magengeschwüren führen oder Sodbrennen auslösen. Verschafft eine Umstellung der Lebens- und Ernährungsgewohnheiten keine dauerhafte Linderung, sollte ein Arzt aufgesucht werden. Medikamentös lassen sich die Beschwerden durch **Antazida**, die die Magensäure neutralisieren oder **Protonenpumpen-Hemmer**, die die Säureproduktion reduzieren, behandeln.

AUFGABEN

- A1** In einigen Arzneimitteln gegen säurebedingte Magenschmerzen und Sodbrennen wird neben Magnesiumhydroxid auch Magnesiumcarbonat eingesetzt. Die Wirkung der Salze wird deutlich, wenn man sie jeweils zu einer mit Universalindikator versetzten salzsauren Lösung gibt.
 - a) Formulieren Sie jeweils die zu erwartenden Beobachtungen und die Reaktionsgleichungen und benennen Sie den Reaktionstyp.
 - b) Begründen Sie anhand einer Reaktionsgleichung, bei welchem der Salze ein vermehrtes Aufstoßen zu erwarten ist.
- A2** Beurteilen Sie, ob Natronlauge gegen Sodbrennen eingenommen werden sollte.
- A3** Erklären Sie anhand des Schlüssel-Schloss-Prinzips die Wirkweise der Protonenpumpen-Hemmer (vgl. S. 111 B3).
- A4** Geben Sie eine begründete Vermutung an, welche Maßnahmen bei einer dauerhaften Therapie mit Protonenpumpen-Hemmern getroffen werden sollten.

4.1.4 Der Magen – ein wichtiges Organ für unsere Verdauung

Muskulös, flexibel und mit einer reizenden Flüssigkeit gefüllt – das ist unser Magen. Er ist für die Nahrung eine wichtige Station auf dem Weg durch den Körper. Seine Aufgabe ist es, Nahrung aus der Speiseröhre aufzunehmen, sie zu durchmischen und zu zersetzen.

Die drei Abschnitte des Magens

Der Magen (B1) liegt im oberen Bauchbereich direkt unter dem Zwerchfell. Im leeren Zustand hat er die Form eines flachen, gekrümmten Beutels und ist etwa faustgroß. Bei der Nahrungsaufnahme dehnt sich der Magen aus und fasst auf diese Weise durchschnittlich bis zu 1,5 Liter Inhalt. Dieser Wert variiert je nach Körpergröße und -gewicht. Die dehnbare Magenwand ist mit einer Schleimhaut überzogen unter der eine glatte Muskulatur liegt.

Bevor die Nahrung in den Magen gelangt, muss sie durch die Speiseröhre und in peristaltischen Bewegungen durch den Schließmuskel des Magens transportiert werden. Ist dieser Übergang passiert, durchwandert die Nahrung die drei Abschnitte des Magens. Im Eingangsbereich befindet sich neben dem Magenmund das Magengewölbe. Hier sammelt sich die mitverschluckte Luft. Im Hauptteil des Magens liegt der Magenkörper. Durch peristaltische Bewegungen der Muskulatur wird die Nahrung an dieser Stelle weiter zerkleinert. In der Schleimhaut des Magenmunds und des Magenkörpers sitzen außerdem Beleg-, Neben- und Hauptzellen und produzieren täglich etwa 2 L Magensaft. Dieser sorgt für eine Denaturierung von Nahrungsproteinen und die Vorverdauung der Nahrung (vgl. Kap. 3.2.2).

Der untere Magenabschnitt wird als Magenausgang bezeichnet. Hier be-

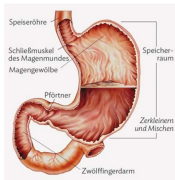
finden sich die G-Zellen, welche das Hormon Gastrin abgeben, um die Magensäureproduktion zu stimulieren. Die Einmündung zum Dünndarm wird durch den Schließmuskel bzw. Pförtner kontrolliert. Er sorgt dafür, dass alle Stoffe so lange im Magen verbleiben, bis sie mit genügend Verdauungssäften versetzt sind. Ist dies der Fall, wird der Speisebrei portionsweise über die 13 mm breite Öffnung in den Dünndarm weitertransportiert. Dort findet dann der Großteil der Verdauungsarbeit statt.

Steuerung der Magentätigkeit

Für das Hungergefühl ist der Vagusnerv verantwortlich, der das Gehirn mit dem Magen-Darm-Trakt verbindet. Er sendet das Bedürfnis des Magens nach Nahrung an das Gehirn. Reize, wie beispielsweise Essensduft oder die Vorfreude auf ein Gericht, stimulieren den Magen und bereiten ihn auf seine Arbeit vor. Der Vagusnerv wird von diesen Reizen stimuliert und regt daraufhin die Produktion von Magensaft und die Abgabe von Gastrin aus den G-Zellen an – bereits bevor sich Nahrung im Magen befindet.

Erreicht der Speisebrei die Magenwand, so wird diese ausgedehnt und zusätzlicher Magensaft wird produziert. Am Magenausgang führt der Druck, der durch den Speisebrei verursacht wird, zu einer verstärkten Freisetzung von Gastrin. Dieses wiederum regt die Produktion von Magensäure an.

Auch das Anfangsstück des Dünndarms, der Zwölffingerdarm, steuert die Magentätigkeit. Durch mechanische und chemische Reize im Zwöl-



B1 Aufbau des Magens und seine Umgebung

fingerdarm wird unter anderem das Hormon Sekretin ausgeschüttet. Dieses verringert die Magensäureproduktion und regt die Schleimhautzellen des Magens zur Produktion von Muzinen an. Die Muzine verzögern die Magenentleerung, so dass ein Sättigungsgefühl entsteht.

Verweildauer

Die Homogenisierung und Zerkleinerung des Nahrungsbreis dauert ein bis sechs Stunden. Flüssigkeiten wie Wasser verlassen den Magen hingegen schon nach 10 – 20 Minuten. Die genaue Zeitspanne ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Generell gilt, dass die Nahrung umso länger im Magen verbleibt, je kalorienreicher sie ist. Die Entleerung des Magens erfolgt dann, wenn die Nahrung auf eine Partikelgröße von zwei Millimetern verkleinert wurde und sich im Magen genug Druck aufgebaut hat.

Die Untersuchung des Magens

Oft gerät der Magen dann ins Visier des Mediziners, wenn der Patient über brennende und krampfartige

Schmerzen im Oberbauch zwischen Rippenbogen und Bauchnabel klagt, die sich mit der Nahrungsaufnahme verändern. Daneben können auch Übelkeit, Erbrechen und andere Verdauungsstörungen ihren Ausgang im Magen haben.

Die typischen Untersuchungsmethoden des Oberbauches sind Abtasten, Abklopfen und Abhören mit dem Stethoskop. Die am häufigsten angewandte bildgebende Methode ist die Magenspiegelung (B2). Dabei führt der Arzt ein spezielles Endoskop über Mund und Speiseröhre bis in den Magen und Zwölffingerdarm ein. Das Kamerasystem des Endoskops überträgt bei leerem Magen gut erkennbare Bilder der Magenoberfläche. Ebenso lassen sich über den Arbeitskanal des Stethoskops Instrumente einführen, mit deren Hilfe sich Blutungen stillen, Biopsien entnehmen und kleinere Operationen durchführen lassen.

Weitere Methoden wie Computertomografie und ein MRT des Unterleibs erfassen auch die unteren Schichten des Magens.

durch Missbrauch von Alkohol, Drogen und bestimmten Schmerzmitteln ausgelöst werden. Meist kommt es dabei zu einer überhöhten Magensäurekonzentration. Klassischerweise werden deshalb Medikamente verschrieben, die den pH-Wert im Magen erhöhen oder die Protonenpumpen hemmen (vgl. Kap. 4.1.3).

Dauert eine Magenschleimhautentzündung länger an und wird chronisch, so kann sich eine tiefe Wunde mit Narbengewebe in der Magenschleimhaut bilden, man spricht von einem Magengeschwür (vgl. Kap. 4.1.2). Magengeschwüre können Blutungen auslösen, die zu Blut im Stuhl und zu einer Blutarmut führen. Werden gutartige Magengeschwüre zu groß, dann müssen sie entfernt werden, denn sie können sich zum Magenkarzinom entwickeln.

Gefährlich ist auch ein Magendurchbruch, bei dem die Magenwand so stark geschädigt wird, dass sie durchbricht und so Mageninhalt in die Bauchhöhle gelangen kann.

Test auf *Helicobacter pylori*

Dem australischen Arzt ROBIN WARREN gelang 1984 durch einen Selbstversuch der Nachweis, dass nicht nur Stress und Übersäuerung zu Magengeschwüren führen können, sondern auch das Bakterium *Helicobacter pylori*. Dieses siedelt sich bevorzugt in der Nähe des Magenpförtners an.

Für den Test auf *Helicobacter pylori* nutzt man dessen Fähigkeit aus, mithilfe von Urease Harnstoff zu Kohlenstoffdioxid und Ammoniak zu spalten. Hierfür wird Harnstoff mit schwach radioaktivem ^{13}C -Kohlenstoff in den Magen des Patienten gegeben. In dessen Atemluft lässt sich dann das vom Bakterium abgespaltene ^{13}C -Kohlenstoffdi-

oxid-Molekül qualitativ und quantitativ nachweisen. Ein einfacher Test für zuhause ist der Antigen-Test, der im Stuhl mögliche *Helicobacter*-Zellen nachweist.

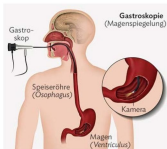
Gesunderhaltung des Magens

Wichtig für die Magengesundheit ist eine ausgewogene und ballaststoffreiche Ernährung, welche in Ruhe und gut gekaut aufgenommen wird. Auf diese Weise beginnt die Verdauung bereits im Mund und der Magen-Darmtrakt wird entlastet. Zudem gilt, dass mehrere kleinere über den Tag verteilte Mahlzeiten den Magen weniger belasten als große Mahlzeiten.

Abgesehen von der Nahrungsaufnahme haben vor allem Bewegung und Sport einen positiven Einfluss auf Magen und Darm. Nicht zu unterschätzen ist außerdem die Wirkung der Psyche auf den Magen. So beugt ein seelisches Wohlbefinden durch regelmäßige Entspannungsphasen und ausreichend Schlaf vielen Magenkrankungen vor. Dabei können auch Entspannungstechniken wie Yoga, Meditation, Atem- oder Bewegungsübungen eine positive Wirkung auf den Magen-Darm-Trakt haben.

AUFGABEN

- A1** Sammeln Sie in einer Tabelle Sprichwörter und Redewendungen, die sich rund um den Magen drehen und geben Sie ihre Bedeutung an.
- A2** Erstellen Sie eine Mindmap mit den möglichen Ursachen für Magengeschwüre.
- A3** Recherchieren Sie, wie ROBIN WARREN zu seinen Erkenntnissen gelangte, für die er 2005 den Nobelpreis erhielt. Fertigen Sie dazu ein Pfeildiagramm an.



B2 Ablauf einer Magenspiegelung

Krankheiten des Magens

Zu den häufigsten Erkrankungen des Magens zählt eine Entzündung der Magenschleimhaut. Diese kann beispielsweise durch Stress, das Bakterium *Helicobacter pylori*, Nikotin oder



4.2 Verdauungshilfsmittel

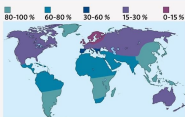
Bauchschmerzen, Blähungen, Übelkeit – wer von Verdauungsbeschwerden geplagt ist, findet die Lösung oft in einer Anpassung der Ernährungsgewohnheiten. Doch was tun wir, wenn eine Ernährungsumstellung nicht ausreichend hilft?

4.2.1 Versuche und Material

M Lactose-(Un)verträglichkeit

M1 Das Enzym Lactase spaltet den Milchzucker Lactose in die Einfachzucker Galactose und Glucose, die über die Darmwand ins Blut aufgenommen werden können (vgl. S. 79). Bei lactose-intoleranten Menschen führt der Verzehr von lactosehaltigen Produkten zu unangenehmen Symptomen, die sich heutzutage auf verschiedenen Wegen lindern lassen.

Ursprünglich haben wir Menschen die Fähigkeit, Lactose zu verdauen, nach dem Kleinkindalter verloren. Erst vor ca. 7.500 Jahren trat die Milchverträglichkeit in Europa auf. Lactosetolerante Menschen hatten evolutionär gesehen den Vorteil, die energiereiche und vitaminhaltige Milch als zusätzliche Nahrungsquelle nutzen zu können. Heute ist weltweit nur ca. ein Drittel der Bevölkerung, vorwiegend in Gebieten mit traditioneller Milchwirtschaft, tolerant für Lactose (**B1**). Das bedeutet, dass die Lactoseverträglichkeit noch immer eher die Ausnahme ist.



B1 Anteil der Menschen an der jeweiligen erwachsenen Bevölkerung, die keine Lactose vertragen (Quelle: Food Intolerance Network)

AUFGABEN

- Stellen Sie eine begründete Vermutung auf, was man gegen Lactoseintoleranz unternehmen kann.
- Bewerten Sie mithilfe von **B1** den Ausdruck „Krankheit Lactose-Unverträglichkeit“.
- Recherchieren Sie, wofür Pankreatin angewendet wird.

V Silicone als Entschäumer



Entschäumer sind Substanzen, die die Entstehung von Schaum unterbinden können. Wofür werden diese benötigt?

V2 Befüllen Sie 3 Reagenzgläser mit jeweils 10 mL Wasser und je einem Tropfen Spülmittel. Verschließen Sie die Reagenzgläser mit Stopfen und schütteln diese kräftig.

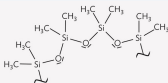
Zerstoßen Sie eine Tablette eines Medikaments gegen Blähungen (z. B. mit dem Wirkstoff Simeticon) im Mörser. Geben Sie $\frac{1}{4}$ des Medikamentenpulvers in eines der Reagenzgläser mit Spülmittel-Lösung. In ein anderes der Reagenzgläser geben Sie einen Tropfen eines industriell verwendeten Antischaummittels.

Hinweis: Gefahrostoffangaben des Herstellers beachten.

Verschließen Sie alle drei Reagenzgläser erneut mit den Stopfen und schütteln Sie. Beobachten Sie die Entwicklung des Schaums über einen Zeitraum von mindestens drei Minuten.

AUSWERTUNG

- Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
- Das Medikament und das industriell verwendete Mittel werden als Entschäumer eingesetzt. Sie haben jedoch leicht unterschiedliche Wirkungen. Stellen Sie eine begründete Vermutung über die jeweiligen Einsatzbereiche auf.
- Viele Entschäumer enthalten als Antischaummittel Polydimethylsiloxan. Recherchieren Sie zu dessen schaumhemmender Wirkung. Erläutern Sie unter Bezug der Strukturformel (**B2**) und mithilfe von Zeichnungen auf Teilchen-Ebene, wie Polydimethylsiloxan-Moleküle die Bildung von Schaum verhindern.



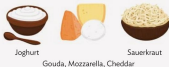
B2 Strukturformel eines Polydimethylsiloxan-Moleküls

ENTSORGUNG: A

M Probiotika im Supermarkt

M3 In vielen Supermärkten werden Lebensmittel mit probiotischer Wirkung angeboten. Hier finden Sie drei Beispiele:

Probiotische Lebensmittel



Joghurt

Gouda, Mozzarella, Cheddar

Sauerkraut

B3 Beispiele für probiotische Lebensmittel im Supermarkt

AUSWERTUNG

- Recherchieren Sie, was man unter dem Begriff „probiotisch“ versteht.

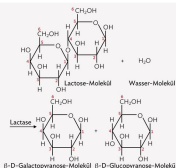
- Erläutern Sie Ursachen für die probiotische Wirkung in den drei abgebildeten Lebensmitteln (**B3**).
- Joghurt und Käse werden des Öfteren aufgrund ihrer probiotischen Wirkung beworben. Bei Sauerkraut sieht man dies eher selten. Stellen Sie eine begründete Vermutung für dieses Werbeverhalten auf.
- Nicht alle fermentierten Produkte sind probiotisch. Bier stellt beispielsweise eine Ausnahme dar. Recherchieren Sie die Details im Herstellungsprozess, welche eine probiotische Wirkung ermöglichen oder verhindern.
- Durch eine ausgewogene Ernährung ist die Darmfunktion bei den meisten Menschen im Gleichgewicht. Stellen Sie eine begründete Vermutung auf, wann die zusätzliche Einnahme probiotischer Arzneimittel sinnvoll sein könnte.

4.2.2 Typische Verdauungshilfsmittel im Überblick

Verdauungsenzyme

Mit der Nahrung werden langkettige Moleküle, wie Kohlenhydrat-, Fett- und Zucker-Moleküle in den Körper aufgenommen. Die Aufgabe von **Verdauungsenzymen** ist es, diese Moleküle durch Enzymhydrolyse für den Körper verwertbar zu machen (vgl. Kap. 3.1). Das Enzym Lipase spaltet beispielsweise Fett-Moleküle und das Enzym Lactase Milchsüßzucker-Moleküle (B1).

Dieser Stoffwechselprozess funktioniert nicht bei jedem Menschen reibungslos. In Deutschland sind ca. 15 % aller Erwachsenen lactoseintolerant. Sie können Milchzucker nicht abbauen, da ihnen das Enzym Lactase fehlt. Die Anwesenheit von Lactose in der Nahrung von lactoseintoleranten Menschen ist meist nicht lebensgefährlich, führt aber zu unangenehmen Symptomen wie Blähungen, Bauchschmerzen und Erbrechen. Betroffene Personen können auf milchzuckerhaltige Produkte verzichten oder das fehlende Enzym Lactase als Medikament und Verdauungshilfsmittel einnehmen, um die Produkte verwerten zu können (V1).



B1 Enzymhydrolyse von Lactose-Molekülen

Der Verzicht auf bestimmte Nahrungsmittel ist nicht immer eine mögliche Lösung. Bei einer Fehlfunktion der Bauchspeicheldrüse können beispielsweise gleich mehrere Verdauungsenzyme fehlen. Der Mangel kann durch die Einnahme von Pankreatin, das aus den Bauchspeicheldrüsen von Schweinen gewonnen wird, behandelt werden. Es handelt sich dabei um eine Mischung aus Lipasen, Proteasen und Amylasen, die den körpereigenen Mangel ausgleichen kann.

Enzyme, die als Verdauungshilfsmittel eingesetzt werden, sind für sämtliche in unseren Lebensmitteln enthaltenen Nährstoffe verfügbar.

Entschäumer

Durch das Schlucken von Luft beim Essen und durch Verdauungsprozesse sammeln sich verschiedene Gase im Darm. Diese werden meist auf natürlichem Wege wieder ausgeschieden. Es kann jedoch zusammen mit Schleim zu einer Schaumbildung kommen. Dann sind die Gase in vielen winzigen Bläschen fest eingeschlossen und können nicht freigesetzt werden (B2, links). Blähungen und Völlegefühl bis hin zu Krämpfen, Durchfall, Verstopfung, Übelkeit und Erbrechen können die Folge sein. Als Ursache kommen unter anderem Lebensmittel in Frage, die entweder bereits große Mengen an freisetzbarem Gas enthalten, wie beispielsweise Sprudelwasser, oder bei der Verdauung große Mengen Gas freisetzen, wie Zwiebeln und Knoblauch. Im Falle von Intoleranzen können weitere Lebensmittel eine übermäßige Gasproduktion hervorrufen.

Gegen die Symptome können neben vieler wirksamer Hausmittel auch **Entschäumer** eingesetzt werden (V2). Sie sorgen für eine Zerstörung des Schaums, indem die Wirkstoffe die Oberflächenspannung der Bläschen herabsetzen. Dadurch werden die im Darm befindlichen Gasblasen zerstört und die Gase freigegeben (B2, rechts). Sie können nun über den Anus ausgeschieden werden. Es handelt sich um ein rein physikalisches Wirkprinzip.

Die Wirkstoffe der Entschäumer werden nicht in die Blutbahn aufgenommen und durchqueren den Magen-Darm-Trakt unverändert. Sie rufen daher normalerweise kaum Nebenwirkungen hervor. Vorsicht ist allerdings vor den Nebeneffekten einiger Hilfsstoffe, wie Konservierungsmitteln, geboten. Auch bei Krankheitsbildern wie Diabetes oder Bluthochdruck sollte auf die Zusammensetzung des Medikaments geachtet werden.



B2 Wirkung von Entschäumern

Probiotika und Präbiotika

Im menschlichen Darm leben rund hundert Billionen Bakterien mit einem Gesamtgewicht von schätzungsweise ein bis zwei Kilogramm. Die Mikroorganismen bilden die natürliche **Darmflora**, auch **Darmmikrobiom** genannt. Sie helfen bei der Verwertung von Nahrungsbestandteilen, verhindern die Ausbreitung von Krankheitserregern und tragen zum Funktionieren unseres Immunsystems bei. Zur Unterstützung des natürlichen Darmmikrobioms wird häufig mit probiotischen Lebensmitteln geworben (V3). Unter dem Begriff **Probiotika** werden verschiedene Mikroorganismen zusammengefasst, die im menschlichen Verdauungstrakt erwünscht sind. Dabei handelt es sich meist um Milchsäurebakterien und Hefepilze. Probiotika kommen in vielen milchsauren Produkten wie Quark und Käse oder in vergorenen Lebensmitteln wie Sauerkraut vor (B3, rechts). Das bekannteste Beispiel ist vermutlich probiotischer Joghurt. Ihm werden zusätzlich größere Mengen bestimmter Mikroorganismen zugesetzt. Probiotika gibt es auch in Form von Arzneimitteln, die oft nach der Einnahme von Antibiotika verschrieben werden. Nachdem Antibiotika außer den schädlichen auch nützliche Bakterien im Körper abtöten, sollen Probiotika dabei helfen, das Gleichgewicht in der Darmflora wiederherzustellen.

Neben Probiotika unterstützen auch **Präbiotika** das Mikrobiom des Darms. Dabei handelt es sich um Ballaststoffe, die vom Körper nicht verdaut werden, sondern dem Mikrobiom zur Verwertung dienen. Auf diese Weise können sich die nützlichen Mikroorganismen schnell vermehren.



B3 Beispiele für Präbiotika und Probiotika

Einige Lebensmittelhersteller versetzen Produkte wie Backwaren, Fruchtsäfte und Wurstwaren mit Präbiotika, um sie ballaststoffreicher zu machen. Dabei stecken in Lebensmitteln wie Chicorée, Zwiebeln, Knoblauch, Artischocken und Bananen (B3, links) genug Präbiotika. Eine ausgewogene Ernährung macht die Lebensmittelzusätze somit oft unnötig.

Eine intakte **Darmflora** ist wichtig für die Gesundheit des Menschen. Bei verschiedenen Krankheitsbildern oder zur Vorbeugung können beispielsweise Enzyme, Entschäumer, Pro- und Präbiotika zur Unterstützung der Verdauung eingesetzt werden.

AUFGABEN

- A1** Formulieren Sie die Reaktionsgleichung zur Hydrolyse von Fett-Molekülen.
- A2** Lactase wird gern als Zusatzstoff in Milchprodukten eingesetzt, um die natürliche Süße zu erhöhen. Nehmen Sie begründete Stellung, ob es erlaubt sein sollte, diese Anwendung des Enzyms als Verdauungshilfsmittel zu bezeichnen.
- A3** Begründen Sie, dass beim Einsatz von Lactasetabletten bei Lactoseintoleranz auf die Dosierung zu achten ist.
- A4** Polydimethylsiloxan wird manchmal auch als siliciumhaltiger Entschäumer bezeichnet. Nehmen Sie zu dieser Klassifizierung Stellung und sammeln Sie jeweils ein Argument für und gegen den Einsatz dieser Stoffe als Entschäumer in Verdauungshilfsmitteln.
- A5** Recherchieren Sie je ein Rezept für ein präbiotisches und ein probiotisches Gericht. Sie können die Rezepte im Klassenverband sammeln und ein Kochbuch erstellen.
- A6** Neben Lactase werden auch andere Verdauungsenzyme, wie beispielsweise Lipasen als Verdauungshilfsmittel in Tablettenform angeboten. Eine Ausnahme stellen Peptidasen dar.
- a) Vergleichen Sie Substrat, Wirkung und Einsatzort für die drei genannten Verdauungsenzyme sowie für ein weiteres Verdauungsenzym Ihrer Wahl in Form einer Tabelle.
- b) Stellen Sie eine begründete Vermutung an, weshalb Peptidasen nicht als frei verkäufliches Verdauungshilfsmittel angeboten werden. Erläutern Sie in diesem Zusammenhang auch mögliche Maßnahmen, um die Einnahme von Peptidasen sinnvoll zu gestalten.



4.3 Schmerzmittel – Zusammensetzung und Anwendung

In der Antike und Frühgeschichte zählte der Schmerz als Strafe der Götter. Durch Rituale oder Tätowierungen sollte er „vertrieben“ werden. Auch Tinkturen, Salben und Trunke sollten den Schmerz verringern. Heutzutage nehmen wir gegen Schmerzen häufig Medikamente ein. Was enthalten unsere Schmerzmittel?

4.3.1 Versuche und Material

M Zusammensetzung von Schmerzmitteln

M1 Schmerzmittel werden für die Behandlung akuter (einmaliger) und chronischer (dauerhafter oder ständig wiederkehrender) Schmerzen eingesetzt. Einige Medikamente sind zusätzlich fiebersenkend und entzündungshemmend. Zu den wichtigsten Wirkstoffen gehören Paracetamol, Acetylsalicylsäure und Ibuprofen.

Neben den Wirkstoffen sind auch pharmazeutische Hilfsstoffe in Schmerzmitteln vorhanden. Diese geben den Medikamenten beispielsweise ihre Form, steuern die Freigabe der Wirkstoffe und gewährleisten eine ausreichende Haltbarkeit. Auch Eigenschaften wie Farbe, Geruch, Geschmack und Verträglichkeit können durch die Hilfsstoffe kontrolliert eingestellt werden.

Trotz der gezielten Zusammensetzung der Medikamente können Schmerzmittel zahlreiche Nebenwirkungen haben. Sie sollten daher nicht unüberlegt eingenommen werden.

AUSWERTUNG

- Schmerzmittel-Moleküle haben keine einheitliche Struktur. Recherchieren Sie die Strukturformeln der im Text genannten Wirkstoff-Moleküle. Markieren Sie die funktionellen Gruppen farblich.
- Recherchieren Sie mögliche Hilfsstoffe eines Acetylsalicylsäure-Präparats. Geben Sie deren Funktion im Präparat an.
- Notieren Sie Zeitpunkt und Grund Ihrer letzten Schmerzmitteleinnahme. Geben Sie den Wirkstoff des Präparats an und recherchieren Sie mögliche Nebenwirkungen.

V Synthese von Acetylsalicylsäure



Salicylsäure war als Naturheilmittel – aus Weidenrinden gewonnen – ein bekanntes Schmerzmittel. Leider verursachte es Brechreiz. Daher wird heute Acetylsalicylsäure ASS eingesetzt. Wie wird diese synthetisiert?

V2 Wiegen Sie in einen 100 mL Erlenmeyerkolben 2,5 g Salicylsäure ein. Ihre Lehrkraft versetzt die Salicylsäure im Abzug mit 5 mL Essigsäureanhydrid. Anschließend verschließen Sie das Gefäß mit einem präparierten Stopfen und einem Aktivkohle-Absorptionsröhrchen (B1, links). Schwenken Sie den Reaktionsansatz vorsichtig für wenige Minuten.

Ihre Lehrkraft gibt nun im Abzug 2 Tropfen konzentrierte Schwefelsäure hinzu. Verschließen Sie erneut das Gefäß mit präpariertem Stopfen und Röhrchen. Schwenken Sie den Ansatz vorsichtig für ca. 5 Minuten.

Geben Sie 5 mL Eisessig hinzu und schwenken Sie das geschlossene Gefäß für weitere 5 Minuten.

Füllen Sie die nun klare Flüssigkeit im Abzug mit 80 mL destilliertem Wasser auf. Kühlen Sie den Erlenmeyerkolben in einem Eisbad (B1, rechts).



B1 links: Präparierter Stopfen mit Aktivkohle-Absorptionsröhrchen, rechts: Reaktionsgefäß in Eiswasser

Lassen Sie den Erlenmeyerkolben stehen, bis die Acetylsalicylsäure auskristallisiert.

Bauen Sie währenddessen ein Filtersystem auf (B2).

Geben Sie den Syntheseansatz in den Büchnertrichter mit Filterpapier und saugen Sie die Flüssigkeit mithilfe der Pumpe ab. Wenn die Flüssigkeit abgesaugt ist, waschen Sie mindestens zweimal mit eiskaltem Wasser nach und saugen Sie jeweils die Flüssigkeit ab. Nehmen Sie die Kristalle mithilfe

eines Spatels vorsichtig vom Filterpapier ab und legen Sie diese zum Trocknen zwischen zwei neue Filterpapiere.

Hinweis: Die Kristalle werden für Kap. 4.4 (V2 und V3 S. 131) benötigt.

AUSWERTUNG



B2 Filtersystem

- Recherchieren Sie das Gefährstoffpotenzial der beim Versuch verwendeten Stoffe, um sicherheitsgerecht zu arbeiten (vgl. S. 18 f.).
- Fertigen Sie ein vollständiges Versuchsprotokoll an.
- Nehmen Sie vorsichtig eine Geruchsprobe vom Filtrat und geben Sie eine Vermutung über das Nebenprodukt der Reaktion an. Überprüfen Sie Ihre Vermutung mithilfe einer geeigneten Methode.
- Recherchieren und notieren Sie die Strukturformeln vom Salicylsäure- und Acetylsalicylsäure-Molekül. Vergleichen Sie die Moleküle hinsichtlich ihrer funktionellen Gruppen.
- Geben Sie eine begründete Vermutung an, um welche Art der Reaktion es sich bei der Synthese von Acetylsalicylsäure aus Salicylsäure handelt. Nutzen Sie hierfür Ihre Ergebnisse aus b) und c).

ENTSORGUNG: Die synthetisierte Acetylsalicylsäure wird aufbewahrt. Sie wird in Kapitel 4.4 benötigt. Filtrat: R

SICHERHEITSHINWEIS: Einmal-Nitrilhandschuhe als Spritzschutz tragen. Unbedingt im Abzug bzw. geschlossenem System arbeiten! Freisetzung von Essigsäureanhydrid minimieren (Abzug plus Adsorptionsröhrchen).

4.3.2 Zusammensetzung von Schmerzmitteln

Wirkstoffe und Hilfsstoffe

In Arzneimitteln kommen **Wirkstoffe** und **Hilfsstoffe** zum Einsatz (M1). Letztere haben keine pharmakologische Wirkung, d.h. sie wechselwirken nicht mit zellulären Strukturen des Körpers und tragen nicht zur gewünschten Verbesserung im Körper bei. Hilfsstoffe haben andere Funktionen (B1).

Hilfsstoff	Funktion
Lactose, Cellulose, Stärke, Saccharose	Füllstoff, Grundlage
Wasser, Ethanol, Propan-2-ol	Lösemittel, Befeuchtungsmittel
Saccharose, Gelatine	Umhüllungsmittel
Stärke, Natriumhydrogencarbonat mit Citronensäure	Zerfallsbeschleuniger, Sprengmittel
Saccharose, Sorbit	Süßungsmittel, Geschmacksregulator

B1 Einige pharmazeutische Hilfsstoffe und deren Funktionen

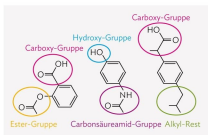
Füllstoffe haben beispielsweise die Aufgabe, die sehr geringe Wirkstoffmenge – diese liegt meist im Milligramm-Bereich – so zu erhöhen, dass ein handhabbares Medikament entsteht. Ohne Füllstoffe wie Lactose, Cellulose oder Stärke wäre es nicht möglich, den Wirkstoff in Tablettenform zu pressen. Weitere Hilfsstoffe werden z. B. benötigt, um den Geschmack eines Medikaments zu verbessern oder den Zerfall des Medikaments und damit die Freisetzung des Wirkstoffs in den Körper zu steuern. Beim Wirkstoff handelt es sich pharmazeutisch gesehen um den arzneilich wirksamen Bestandteil eines Medikaments. Medikamente können einen einzelnen oder auch mehrere Wirkstoffe enthalten.

In Schmerzmitteln, sogenannten **Analgetika**, haben die Wirkstoffe schmerzstillende und zum Teil fiebersenkende und entzündungshemmende Wirkung. Mit der therapeutischen Wirkung eines Medikaments sowie dessen Nebenwirkungen, Wirkorten und Wirkungsmechanismen befasst sich die **Pharmakodynamik**.

Chemie der Wirkstoff-Moleküle

Zur Behandlung von leichten bis mäßigen Schmerzen und Fieber sind Präparate mit den Wirkstoffen Acetylsalicylsäure (ASS), Paracetamol und Ibuprofen weltweit die gebräuchlichsten Schmerzmittel. Die drei Wirkstoff-Moleküle sind jeweils aus einem Kohlenstoff-Atomring mit zwei Seitenketten aufgebaut. Die Position und die Art der funktionellen Gruppen unterscheiden sich voneinander.

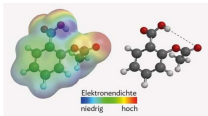
Beim ASS-Molekül sind zwei polare Gruppen an den unpolaren Kohlenstoff-Atomring gebunden: eine Ester- und eine Carboxy-Gruppe (B2, links). Auch das Ibuprofen-Molekül enthält eine Carboxy-Gruppe (B2, rechts). Zudem ist eine unpolare Alkyl-Gruppe an den Kohlenstoff-Atomring gebunden. Bei den beiden funktionellen Gruppen im Paracetamol-Molekül handelt es sich um polare Hydroxy- und Carbonsäureamid-Gruppen (B2, rechts). Letztere ist aus einer Amino-Gruppe aufgebaut, bei der ein oder mehrere Wasserstoff-Atome durch Carbonyl-Gruppen mit einem Alkyl-Rest ersetzt sind. Von der Struktur der Moleküle hängen die Eigenschaften der Wirkstoffe ab. Diese haben unter anderem Einfluss auf die Freisetzung der Stoffe in den Körper und somit auf deren Resorption.



B2 links: Acetylsalicylsäure-Molekül, Mitte: Paracetamol-Molekül, rechts: Ibuprofen-Molekül

Wasserlöslichkeit

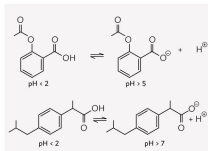
Die Elektronendichteoberfläche in B3 (links) zeigt den eher geringen Einfluss der funktionellen Gruppen auf die Gesamtpolarität des ASS-Moleküls. Zudem bilden die Carboxy- und die Ester-Gruppe untereinander Wasserstoffbrücken aus (B3, rechts). ASS ist demnach nur schlecht in Wasser löslich (3,3 g/L bei 20°C).



B3 links: Elektronendichteoberfläche des ASS-Moleküls, rechts: intramolekulare Wasserstoffbrücke im ASS-Molekül

Mit steigendem pH-Wert nimmt die Wasserlöslichkeit von ASS zu. Das liegt daran, dass das ASS-Molekül im Basischen ein Proton abgibt und als Acetylsalicylat-Anion vorliegt (B4, oben). Aufgrund der pH-Abhängigkeit löst sich der Wirkstoff ASS im Speichel (pH = 6,8 – 7,2) schlecht und in der Magensäure (pH = 1,0 – 1,5) gar nicht. Erst im basischen Milieu des Dünndarms (pH = 7,0 – 9,0) wird ASS in ihre Bestandteile gespalten. Dadurch finden keine Nebenwirkungen im Magen statt und Medikamente mit dem Wirkstoff ASS sind gut verträglich.

Auch das Ibuprofen-Molekül (B2, rechts) ist unpolare und der Wirkstoff daher schlecht wasserlöslich (0,21 g/L bei 25°C). Die Wasserlöslichkeit hat bei pH = 2 ein Minimum. Die geringe Löslichkeit im sauren Bereich führt unter anderem dazu, dass Ibuprofen relativ lange im sauren Magenmilieu verweilt, woraus eine langsame Resorption resultiert. Mit steigendem pH-Wert steigt auch die Wasserlöslichkeit von Ibuprofen stark an und erreicht bei pH = 7 ihr Maximum. Das liegt daran, dass mit steigendem pH-Wert ein Proton von der Carboxy-Gruppe des Wirkstoff-Moleküls abgespalten wird, wodurch es bei pH = 7 komplett in der anionischen Form vorliegt (B4, unten).



B4 Überwiegende Form des Acetylsalicylsäure- (oben) und des Ibuprofen-Moleküls (unten) bei verschiedenen pH-Werten

Aufgrund des Verhaltens der Wirkstoff-Moleküle in wässriger Lösung lassen sich ASS und Ibuprofen den **sauren Analgetika** zuordnen. Deren Lösegeschwindigkeit kann durch eine Veränderung des pH-Werts im Magen, beispielsweise durch die Einnahme bestimmter Medikamente, stark beeinflusst werden. Im Gegensatz dazu ist die Wasserlöslichkeit von nichtsauren Analgetika, wie Paracetamol, nicht pH-abhängig. Dennoch ist auch die Wasserlöslichkeit von Paracetamol eher schlecht (14 g/L bei 20°C). Die Seitenketten beeinflussen auch hier die Polarität des Gesamtmoleküls nur wenig.

Die Löslichkeit von Arzneimitteln kann beispielsweise durch chemische Modifikationen des Wirkstoffes erhöht werden. So soll z. B. die Salzbildung des Wirkstoffs Ibuprofen mit Lysin zu einer besseren Löslichkeit beitragen. Auch die Einführung polarer funktioneller Gruppen in die Wirkstoff-Moleküle ist möglich. Die Modifikation des Wirkstoff-Moleküls darf jedoch nichts an dessen Wirksamkeit ändern oder die funktionellen Gruppen müssen im Körper wieder abgespalten werden. Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Löslichkeit ist die Verwendung von Hilfsstoffen.

Arzneimittel bestehen aus **Hilfsstoffen**, die nicht pharmakologisch wirksam sind, und den arzneilich wirksamen Bestandteilen, den **Wirkstoffen**.

Die **Pharmakodynamik** befasst sich unter anderem mit der Wirkung von Wirkstoffen im Körper. Sie wird durch die Struktur der Wirkstoff-Moleküle bestimmt.

Für die Resorption und somit für die Wirkung entscheidend ist die Wasserlöslichkeit der Wirkstoffe. Sie kann pH-abhängig, wie bei ASS und Ibuprofen oder pH-unabhängig, wie bei Paracetamol, sein. Die Wasserlöslichkeit kann durch Modifikationen der Wirkstoffe oder durch Hilfsstoffe verbessert werden.

AUFGABEN

- A1 Stellen Sie mithilfe eines geeigneten Computer-Programms die Elektronendichteverteilung des Paracetamol- und des Ibuprofen-Moleküls dar.

Eine Liste mit Programmen finden Sie unter QR-/Mediencode 06041-33.



06041-33

- A2 Erläutern Sie mithilfe von B2 und B4, dass die Moleküle von ASS und Ibuprofen in Wasser als Säuren reagieren, das Paracetamol-Molekül aber nicht.

- A3 Geben Sie eine begründete Vermutung an, warum Sprengmittel in Medikamenten benötigt werden.

- A4 Diclofenac ist ein bekannter Schmerzmittelwirkstoff. Recherchieren Sie den chemischen Aufbau des Diclofenac-Moleküls und benennen Sie die funktionellen Gruppen.

- A5 Recherchieren Sie Hilfsstoffe, die die Löslichkeit von Arzneimitteln erhöhen können und geben Sie deren Wirkungsmechanismus an.

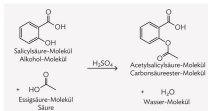
4.3.3 Synthese von Schmerzmitteln

Synthese von Acetylsalicylsäure

Zur Schmerzbekämpfung und zum Senken von Fieber wurde schon früher die Weidenrinde verwendet, aus der der Wirkstoff Salicylsäure gewonnen werden kann. Der unangenehme bittere Geschmack und die häufig auftretenden Nebenwirkungen wie Übelkeit und Magenschleimhautentzündungen schränkten jedoch die Einsatzmöglichkeiten von Salicylsäure als Medikament ein. Aus diesem Grund wurde das Molekül chemisch modifiziert. Es gelang, Essigsäuresalicyl ester, besser bekannt unter dem Namen Acetylsalicylsäure, aus Salicylsäure herzustellen (zur Entwicklung von Acetylsalicylsäure finden Sie ein Arbeitsblatt unter dem QR-/Mediencode 06041-42). Hierfür können Salicylsäure-Moleküle mit Essigsäure-Molekülen zur Reaktion gebracht werden, wobei Wasser-Moleküle abgespalten werden (B5). Es handelt sich um eine **Kondensationsreaktion**.



06041-42



B5 Reaktionsgleichung zur Bildung von ASS-Molekülen

Bildung von Carbonsäureestern

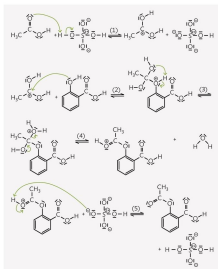


B6 Essigsäureanhydrid-Molekül

Üblicherweise wird Essigsäureanhydrid (B6) statt Essigsäure zur Synthese von ASS eingesetzt (V2). Bei dieser Reaktion wird ein Essigsäure-Molekül abgespalten. Der Mechanismus bleibt gleich.

Zur Vereinfachung wird deshalb die Kondensation von einem Salicylsäure- mit einem Essigsäure-Molekül dargestellt (B7). Dabei reagiert die Hydroxy-Gruppe des Salicylsäure-Moleküls säurekatalysiert mit der Carboxy-Gruppe des Essigsäure-Moleküls unter Bildung einer Ester-Gruppe.

Im ersten Schritt wird das Sauerstoff-Atom der Carbonyl-Gruppe durch das Katalysator-Molekül, häufig ein Schwefelsäure-Molekül, protoniert (B7, 1). Daraufhin erfolgt ein nukleophiler Angriff des Alkohol-Moleküls an das Kohlenstoff-Atom des Carbonsäure-Moleküls mit der positiven Formalladung (B7, 2). Zuletzt wird durch

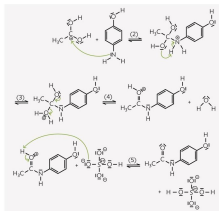


B7 Mechanismus zur Bildung von ASS-Molekülen

Protonenumlagerung (B7, 3) ein Wasser-Molekül abgespalten (B7, 4) und das Katalysator-Molekül durch eine Protonierung reaktiviert (B7, 5).

Bildung von Carbonsäureamiden

Auch das Paracetamol-Molekül kann über eine Kondensationsreaktion mit einem Essigsäureanhydrid- bzw. Essigsäure-Molekül synthetisiert werden (B8). Als Ausgangsstoff dient 4-Aminophenol. Das Molekül hat einen sechsgliedrigen Kohlenstoffatom-Ring, an dem eine Hydroxy-Gruppe und auf der gegenüberliegenden Seite eine Amino-Gruppe (NH_2) gebunden sind. Die Schritte verlaufen ähnlich zum Reaktionsmechanismus zur Bildung von Carbonsäureester-Molekülen (B7). Zuerst wird das Sauerstoff-Atom der Carbonyl-Gruppe des Essigsäure-Moleküls durch eine Säure (Katalysator) protoniert (B7, 1). Dann greift das freie Elektronenpaar der Amino-Gruppe am C-Atom des Carbonsäure-Moleküls mit der positiven Formalladung an (B8, 2). Das bedeutet, dass nicht wie bei der Bildung von Carbonsäureestern die Hydroxy-Gruppe, sondern die Amino-Gruppe des 4-Aminophenol-Moleküls reagiert. Durch Protonenumlagerung (B8, 3), Abspaltung eines Wasser-Moleküls (B8, 4) und Reaktivierung des Säurekatalysators (B8, 5)



B8 Mechanismus zur Bildung des Carbonsäureamid-Moleküls Paracetamol

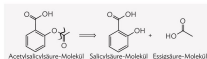
entsteht ein Molekül mit einer **Carbonsäureamid-Gruppe**. Dabei handelt es sich um eine funktionelle Gruppe bestehend aus einem Stickstoff-Atom, das ein Wasserstoff-Atom und einen Carbonsäure-Rest ($\text{R}-\text{CO}-$) gebunden hat.

Retrosynthese und Reaktionstyp

Wollen Wissenschaftler ein komplexes organisches Molekül synthetisieren, so wenden sie die **retrosynthetische Analyse** bzw. **Retrosynthese** an. Bei dieser Technik wird das Ziel-Molekül gedanklich in kleinere Moleküle zerlegt. Die kleineren Moleküle sollten entweder in der Natur vorkommen oder einfach herstellbar bzw. günstig erwerbbar sein. Zudem sollten für die Verknüpfung der kleineren Moleküle Syntheseschritte bekannt sein. Aufgrund der vielfältigen Synthesemöglichkeiten trennt man bei der Retrosynthese meist Bindungen zwischen Kohlenstoff- und nicht-Kohlenstoff-Atomen. Auch funktionelle Gruppen

lassen sich häufig in einfachere Gruppen umwandeln, um leichter zugängliche Moleküle zu erhalten.

Das Acetylsalicylsäure-Molekül enthält einen Kohlenstoff-Atomring, eine Carboxy-Gruppe und eine Ester-Gruppe (**B5**). Carbonsäureester-Moleküle können durch eine Veresterung von einem Alkohol-Molekül mit einem Carbonsäure-Molekül gebildet werden. Im Umkehrschluss lässt sich vom ASS-Molekül ein Acetat-Rest abspalten. Beide Bruchstücke müssen nun sinnvoll zu stabilen Molekülen vervollständigt werden. Durch die Reaktion mit Wasser-Molekülen entstehen ein Salicylsäure- und ein Essigsäure-Molekül. Die Retrosynthese wird mit einem Retrosynthesepfeil dargestellt (**B9**).



B9 Retrosynthese des Acetylsalicylsäure-Moleküls

Theoretisch lässt sich das Salicylsäure-Molekül weiter zerlegen. Dies ist aufgrund der leicht zugänglichen Edukt-Moleküle jedoch nicht notwendig.

Carbonsäureester- und **Carbonsäureamid-Moleküle** können durch Kondensationsreaktionen synthetisiert werden. Solche bekannten Mechanismen werden bei der **Retrosynthese** verwendet, um die Synthese eines komplexen Zielmoleküls zu planen. Dabei wird das Molekül gedanklich mithilfe der funktionellen Gruppen in einzelne Bausteine zerlegt. Die kleineren Moleküle sollten einfach zugänglich sein. Zudem sollten für deren Verknüpfung bereits Syntheseschritte bekannt sein.

AUFGABEN

- A1** Erklären Sie die Entstehung des Wasser-Moleküls bei der Amid-Bildung (**B8**).
- A2** Für die Synthese von Acetylsalicylsäure kann sowohl Essigsäure als auch Essigsäureanhydrid verwendet werden.
- a) Recherchieren Sie wirtschaftliche und sicherheitstechnische Aspekte zur Verwendung der Stoffe bei der Synthese von ASS und entscheiden Sie sich begründet für einen der beiden Ausgangsstoffe.

- b) Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus der säurekatalysierten Estersynthese des ASS-Moleküls mit einem Essigsäureanhydrid-Molekül (**B6**).

- A3** Stellen Sie eine Retrosynthese für das Paracetamol-Molekül analog zum Acetylsalicylsäure-Molekül **B9** dar. Erläutern Sie Ihre Gedankengänge zum Zerlegen des Moleküls in einem Fließtext.

4.3.4 Reflektierte Verwendung von Arzneimitteln

Selbstmedikation

Einige Medikamente können rezeptfrei in Apotheken gekauft und ohne ärztliche Anordnung eingenommen werden. In solchen Fällen spricht man von einer Selbstmedikation. Gerade bei vermeintlich leichten Symptomen wie Kopfschmerzen oder Übelkeit wird gern zu rezeptfreien Medikamenten gegriffen.

Obwohl die **Selbstmedikation** ein wichtiger Teil unseres Gesundheitssystems ist und für viele Erkrankungen eine sinnvolle Maßnahme darstellt, ist sie unter bestimmten Umständen kritisch zu sehen. Es besteht beispielsweise die Gefahr, Krankheiten zu verschleppen, indem deren Schwere falsch eingeschätzt wird. Auch eine Therapie mit ungeeigneten Wirkstoffen oder Wechselwirkungen mit anderen Medikamenten stellen Gefahren der Selbstmedikation dar. Alle Konsumenten von rezeptfreien Arzneimitteln sollten sich in der Apotheke, in der die Medikamente erworben werden, beraten lassen.

Auch die Packungsbeilage enthält wichtige Informationen über das jeweilige Medikament (**B10**). Diese sollte beachtet, aber nicht als alleinige Informationsquelle genutzt werden. Nur durch die Einschätzung einer Fachperson können unangenehme Konsequenzen einer Selbstmedikation vermieden werden. Auf keinen Fall dürfen verschreibungspflichtige Medikamente in Selbstmedikation eingesetzt werden.

Was in der Packungsbeilage steht

1. Was ist es für ein Medikament und wofür wird es angewendet?
2. Was sollten Sie vor der Einnahme vom Medikament beachten?
3. Wie ist das Medikament einzunehmen?
4. Welche Nebenwirkungen sind möglich?
5. Wie ist das Medikament aufzubewahren?
6. Inhalt der Packung und weitere Informationen



B10 Informationen in der Packungsbeilage

Gefahren von frei verkäuflichen Arzneimitteln

Freiverkäufliche Schmerzmittel sind in vielen Hausapotheken Standard und werden oftmals unbedacht eingenommen. Sie sind jedoch keineswegs harmlos, sondern

bergen zahlreiche Risiken. Zudem steigt bei regelmäßiger Einnahme der Medikamente auch die Schmerzempfindlichkeit an, wodurch die Schmerzen häufiger und schlimmer auftreten können. In diesem Fall werden häufig noch mehr Tabletten eingenommen. Dieser durch Übergebrauch verursachte Kopfschmerz lässt sich verhindern: ohne Rücksprache mit einem Arzt dürfen die Schmerzmittel höchstens zehn Tage im Monat und drei bis vier Tage in Folge angewendet werden.

Arzneimittel in der Werbung

Laut **Heilmittelwerbegesetz** ist die Werbung außerhalb von medizinischen oder pharmazeutischen Fachkreisen nur für rezeptfreie Medikamente erlaubt. Der Hinweis „Zu Risiken und Nebenwirkungen lesen Sie die Packungsbeilage oder fragen Sie Ihren Arzt oder Apotheker“ ist dabei für alle Werbeschaltungen verpflichtend (**B11**). Mit der Werbung für ihre Präparate können Arzneimittelhersteller nicht nur Gewinn erzielen, sondern auch Forschung nach neuen Wirkstoffen betreiben.

Für Konsumenten ist es wichtig, die Arzneimittelwerbung kritisch zu hinterfragen, denn die Aufklärung über mögliche Nebenwirkungen oder Gefahren erfolgt meist nur durch den oben genannten Hinweis. Dies kann zu einem bedenkenlosen Einsatz von nicht verschreibungspflichtigen Arzneimitteln beitragen.

Immer häufiger wird zudem nicht klassisch für die Medikamente geworben, sondern subtiler auf die Präparate aufmerksam gemacht. Dies kann über soziale Medien oder über Internetseiten erfolgen, bei denen nicht auf den ersten Blick erkennbar ist, dass ein Arzneimittelhersteller dahintersteckt. Interessant gestaltete Blogs, Podcasts, Umfragen oder Patientenforen vermitteln dabei den Eindruck von unabhängigen Informationsquellen, während eigentlich ein bestimmtes Arzneimittel beworben wird. Besonders Kinder und Jugendliche sollten daher geschult werden, die versteckte Werbung als solche zu erkennen.

Zu Risiken und Nebenwirkungen
lesen Sie die Packungsbeilage
und fragen Sie Ihren Arzt
oder Apotheker.

B11 Nach jeder Arzneimittelwerbung erscheint ein verpflichtender Hinweis.

Medikamentenmissbrauch

Normalerweise sollen Medikamente dazu dienen, Krankheiten zu behandeln bzw. deren Symptome zu lindern. Werden sie außerhalb ihres Anwendungsgebiets oder über die verordnete Dosis oder Zeit hinaus verwendet, bezeichnet man dies als **Medikamentenmissbrauch**.

Fast jeder dritte Deutsche hat schon einmal ein rezeptfreies Arzneimittel ohne medizinische Notwendigkeit eingenommen. Schmerzmittel werden beispielsweise gern eingesetzt, um im Sport leistungsfähiger zu sein. Viele Sportler glauben, dass sie durch die Schmerzmittel härter und länger trainieren könnten. Dabei ist die Einnahme von Schmerzmitteln beim Sport gefährlich: Beim Training über die Schmerzgrenze zu gehen, weil diese durch Medikamente verschleiert wird, kann z. B. zu ernsthaften Schäden am Bewegungssystem wie Muskelfaserrissen, Bänder- oder Gelenkverletzungen führen.

Medikamentenabhängigkeit

Einige Konsumenten erhoffen sich von Schmerzmitteln eine höhere Leistungsfähigkeit oder sie wollen Ängste und Überforderung kompensieren. Dieser missbräuchliche Konsum von Schmerzmitteln kann durch Stress, Überforderung oder psychische Erkrankungen begünstigt werden. Bei Menschen mit chronischen Schmerzen kann eine dauerhafte Einnahme oder zu hohe Dosierung von schmerzlindernden Präparaten die Folge ihrer Beschwerden sein. Die missbräuchliche und langfristige Anwendung sowie eine zu hohe Dosierung der Schmerzmittel kann zu einer **Abhängigkeit** führen.

Um eine Abhängigkeit festzustellen, müssen laut Weltgesundheitsorganisation WHO mindestens drei der folgenden Kriterien gleichzeitig erfüllt sein:

- Starkes Verlangen, die Substanz zu konsumieren
- Verminderte Kontrollfähigkeit über Beginn, Dauer, Beendigung und Menge der Einnahme
- Körperliche Entzugserscheinungen bei Beendigung oder Reduktion des Konsums
- Dosissteigerung aufgrund des Wirkungsverlustes und der wachsenden Toleranz der Substanz gegenüber
- Vernachlässigung anderer Interessen, z. B. Familie, Freunde, Hobbys, Beruf
- Anhaltender Konsum trotz bereits eingetretener Schäden

Schätzungen zufolge sind in Deutschland etwa 1,4 Mio. bis 1,5 Mio. Erwachsene medikamentenabhängig. Neben Schmerz- und Abführmitteln können vor allem auch Nasensprays und pflanzliche Schlaf- und Beruhigungsmittel abhängig machen.

Werden Medikamente rezeptfrei in Apotheken gekauft und ohne ärztliche Anordnung eingenommen, spricht man von **Selbstmedikation**. Sie stellt bei vielen Erkrankungen eine sinnvolle Maßnahme dar, birgt jedoch auch zahlreiche Risiken. Die Gefahren lassen sich durch eine Beratung von pharmazeutischem Fachpersonal, oder zumindest durch die Beachtung der Packungsbeilage minimieren. Der Hinweis auf diese Informationsquellen ist auch bei **Arzneimittelwerbung** verpflichtend. Werden Medikamente außerhalb ihres Anwendungsgebiets oder über die verordnete Dosis oder Zeit hinaus verwendet, spricht man von **Medikamentenmissbrauch**. Dieser kann zu einer **Medikamentenabhängigkeit** führen.

AUFGABEN

- A1** Grenzen Sie die Begriffe Missbrauch, Gewöhnung und Abhängigkeit in Bezug auf die Medikamenteneinnahme voneinander ab. Recherchieren Sie hierfür auch im Internet.
- A2** Erstellen Sie einen digitalen Informationsflyer, der kritisch über den Konsum von Schmerzmitteln aufklärt. Klären Sie in diesem Flyer auch über Schmerzmittelabhängigkeit auf.
- A3** Der Missbrauch von Schmerzmitteln gegen Kopfschmerzen kann wiederum Kopfschmerzen auslösen. Recherchieren Sie Gründe hierfür.
- A4** Die Selbstmedikation von Profi- wie auch Breitensportlern wird häufig als besonders problematisch angesehen, was zu Forderungen nach einer Rezeptpflicht für Schmerzmittel führt. Entscheiden Sie begründet, ob Sie einer pauschalen Rezeptpflicht für Schmerzmittel zustimmen würden oder nicht.
- A5** Analysieren Sie anhand einer Recherche die mögliche Beeinflussung von Patientinnen und Patienten durch die Schmerzmittelwerbung in verschiedenen digitalen Medien (Video, Bild und Text).



4.4 Extraktion und Analyse von Schmerzmittelwirkstoffen

Die ältesten überlieferten Medikamentenrezepte stammen aus der Zeit um 3000 v. Chr. aus Mesopotamien. Heute ist die chemisch-pharmazeutische Industrie in Deutschland ein wichtiger Wirtschaftszweig, der vollautomatisiert eine Vielzahl von Präparaten produziert. Ein unverzichtbarer Aspekt im Herstellungsprozess ist die regelmäßige Qualitätskontrolle.

4.4.1 Versuche und Material

V Die Extraktion von ASS



In der Qualitätsabteilung eines Pharmakonzerns soll der Wirkstoff ASS für weitere Untersuchungen aus einer Schmerztablette extrahiert werden. Wie lässt sich die Extraktion bewerkstelligen?

V1 Entwickeln Sie ein Experiment, um den Wirkstoff ASS aus einer Tablette herauszulösen. Beginnen Sie Ihre Planung mit einer Hypothese zur Extraktion des Schmerzmittelwirkstoffes. Berücksichtigen Sie das Gefährdungspotenzial der verwendeten Chemikalien sowie nötige Sicherheitsvorkehrungen und führen Sie das geplante Experiment nach Rücksprache mit der Lehrkraft durch.

Folgende Materialien stehen zur Verfügung: Schmerztablette, Wasser, Ethanol, Heptan, Essigsäurelösung, Natriumhydroxidlösung, Mörser, Pistill, Trichter, Faltenfilter, Becherglas.

AUSWERTUNG

- Protokollieren Sie den Ablauf des Experiments und die Beobachtungen. Geben Sie an, ob Ihre Hypothesen gestützt oder widerlegt worden sind.
- Begründen Sie die Wahl des Lösemittels. Nutzen Sie hierfür Skelettformeln.
- Geben Sie eine begründete Vermutung an, welche Stoffe der Rückstand im Filterpapier enthält.
- Geben Sie Iod-Kaliumiodidlösung auf den Filterrückstand. Begründen Sie, ob der Nachweis positiv ausgefallen ist und geben Sie gegebenenfalls den nachgewiesenen Stoff an.

ENTSORGUNG: Extrahierte ASS für weitere Versuche aufbewahren. Alles weitere: G3

V Reinheit von ASS



Zur Herstellung von Arzneimitteln dürfen nur Ausgangsstoffe verwendet werden, deren ordnungsgemäße Qualität festgestellt wurde. Welche Versuche eignen sich z. B. zur Untersuchung der Reinheit?

Die Versuche werden mit synthetisierter ASS (V2, S. 123) und extrahierter ASS (V1, S. 130) durchgeführt.

V2 Geben Sie jeweils eine Spatelspitze von ASS in ein Reagenzglas und lösen Sie die Proben in Wasser. Geben Sie 2 Tropfen Eisen(III)-chloridlösung hinzu.

V3 Führen Sie eine Dünnschichtchromatografie mit den ASS-Proben und Salicylsäure durch (vgl. FM S. 37). Lösen Sie die Proben hierfür jeweils in 1 mL Ethanol. Verwenden Sie als Fließmittel ein Gemisch aus 6 mL Cyclohexan, 6 mL Aceton und 5 Tropfen dest. Wasser. Als stationäre Phase dient eine Kieselgel-Platte mit UV-Indikator.

Betrachten Sie das Chromatogramm unter UV-Licht. Tauchen Sie es anschließend in Eisen(III)-chloridlösung.

AUSWERTUNG

- Notieren Sie Ihre Beobachtungen zur Färbung der Proben mit Eisen(III)-chloridlösung (V2). Recherchieren Sie hierfür den Stoff, für den die Lösung als Nachweis dient.
- Berechnen Sie die R_f -Werte für Ihr Chromatogramm (V3) und erklären Sie die unterschiedlichen Werte für die Stoffe Acetylsalicylsäure und Salicylsäure.
- Interpretieren Sie das Chromatogramm aus V3. Gehen Sie darauf ein, ob bei der Synthese ASS hergestellt wurde und ob die Aufreinigung der Probe erfolgreich war.

ENTSORGUNG: A, R

V Gehaltsbestimmung durch Titration



Auf der Verpackung eines Präparats gegen Kopfschmerzen findet sich folgende Angabe: ASS-500. Was bedeutet das?

V4 Geben Sie das Pulver einer im Mörser zerkleinerten Kopfschmerztablette in ein Becherglas. Spülen Sie den Inhalt des Mörsers anschließend zweimal mit je 10 mL Ethanol möglichst vollständig in das Becherglas. Fügen Sie nun 3 Tropfen Phenolphthaleinlösung hinzu. Titrieren Sie mit Natriumhydroxidlösung ($c = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$) bis zum Äquivalenzpunkt.

AUSWERTUNG

- Notieren Sie das Volumen an verbrauchter Natriumhydroxidlösung.
- Berechnen Sie die Masse an ASS, die in einer Tablette enthalten ist. Führen Sie im Anschluss eine Fehlerdiskussion durch.
- Geben Sie eine begründete Vermutung an, warum sich die Lösung nach längerer Zeit entfärbt.

ENTSORGUNG: A, R

M Inhaltsstoffe frei verkäuflicher Schmerzmittel

M4 Tabelle B1 zeigt einige Inhaltsstoffe von drei verschiedenen Schmerztabletten.

Schmerzmittel A	Schmerzmittel B	Schmerzmittel C
ASS 300 mg	Paracetamol 500 mg	Ibuprofen 800 mg
Stärke	Stärke	Stärke
Cellulose	Cellulose	Stearinsäure
...	Natriumcarboxymethylcellulose	Natriumcarboxymethylcellulose

B1 Einige Inhaltsstoffe verschiedener Schmerzmittel

AUSWERTUNG

Recherchieren Sie die pharmazeutischen Funktionen von den in B1 angegebenen Inhaltsstoffen der Schmerzmittel. Notieren Sie Ihr Ergebnis in einer Tabelle.

4.4.2 Extraktion und Analyse von Acetylsalicylsäure

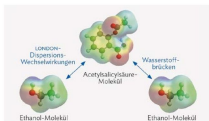
Pharmazeutisch-chemische Analytik

In der chemisch-pharmazeutischen Industrie müssen die produzierten Medikamente regelmäßig auf ihre Qualität überprüft werden, um die hohen gesetzlichen Anforderungen an Pharmazeutika zu erfüllen. Auf seinem Weg zur Zulassung ist die pharmazeutische Analytik die erste entscheidende Prüfungshürde für ein Medikament. Geprüft werden die Arzneimittel unter anderem auf den Wirkstoffgehalt und Verunreinigungen, z. B. Abbauprodukte, Reaktionsprodukte und Rückstände aus dem Herstellungsprozess.

Extraktion von Schmerzmittelwirkstoffen

Neben den eigentlichen Wirkstoffen enthalten Medikamente verschiedenste Hilfsstoffe, die im Rahmen der Qualitätskontrollen von den Wirkstoffen abgetrennt werden müssen. Entscheidend ist hierbei die Wahl eines geeigneten Lösemittels.

Der Wirkstoff ASS löst sich schlecht in kaltem Wasser, jedoch gut im amphiphilen Lösemittel Ethanol. Verantwortlich dafür ist der relativ große unpolare Molekülteil im ASS-Molekül, der eine Wechselwirkung mit polaren Wasser-Molekülen erschwert. Mit Ethanol-Molekülen können sich dahingegen sehr gut Wechselwirkungen ausbilden (B1).



B1 Wechselwirkungen zwischen ASS- und Ethanol-Molekülen

Nachdem der Wirkstoff ASS mithilfe von Ethanol aus den zerkleinerten Tabletten herausgelöst wurde, lassen sich die Hilfsstoffe über eine Filtration abtrennen (V1). Als Rückstand bleiben dabei z. B. Stärke und Cellulose. Die Stärke kann mit Iod-Kaliumiodidlösung durch eine blau-schwarze Färbung nachgewiesen werden. Sie dient als Sprengmittel in den ASS-Tabletten (vgl. S. 147 T4).

Analytik von Wirkstoffen

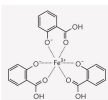
Der extrahierte Schmerzmittelwirkstoff kann mit verschiedenen Analysen näher untersucht werden. Dabei unterscheidet man qualitative von quantitativen Untersuchungsmethoden. Die qualitative Analytik dient zum Nachweis von wichtigen Strukturmerkmalen der Moleküle, z. B. von funktionellen Gruppen, die für die Wirkung des Wirkstoffes relevant sind, sowie zur Überprüfung der Wirkstoffreinheit. Mithilfe der quantitativen Verfahren kann eine Mengenbestimmung des vorliegenden Wirkstoffs durchgeführt werden.

Nachweis mit Eisen(III)-chlorid-lösung

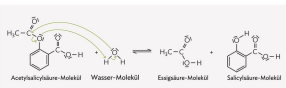
Zur qualitativen Untersuchung der selbst hergestellten oder aus einer Tablette extrahierten ASS kann der Wirkstoff mit Eisen(III)-chloridlösung versetzt werden (V2). Färbt sich die Lösung rot, ist sie mit Salicylsäure verunreinigt.

Salicylsäure-Moleküle können über die Sauerstoff-Atome der Hydroxy- und der Carboxy-Gruppe mit Eisen-Ionen wechselwirken. Es entsteht eine Verbindung (B2), die die Rotfärbung verursacht. In den ASS-Molekülen verhindert die Ester-Gruppe aufgrund der räumlichen Ausdehnung eine Wechselwirkung. Aus diesem Grund färbt sich nur Salicylsäure bei Zugabe von Eisen-(III)-chloridlösung rot.

Die Verfärbung kann aufzeigen, dass das Produkt der Synthese noch Salicylsäure enthält und somit nicht rein ist. Auch ältere ASS-Proben verfärbten sich rot, da der Carbonsäureester an feuchter Luft hydrolysiert wird (B3). Dadurch wird die Ester-Gruppe des ASS-Moleküls in ein Essigsäure- und ein Salicylsäure-Molekül gespalten.



B2 Wechselwirkungen zwischen Salicylsäure-Molekülen und Eisen(III)-Ionen



B3 Hydrolyse von ASS-Molekülen an feuchter Luft

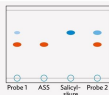
Dünnschichtchromatografie

Eine weitere Möglichkeit zur Überprüfung der Reinheit eines Schmerzmittelwirkstoffes ist die Dünnschichtchromatografie (vgl. FM S. 37).

Die zu untersuchende Substanzprobe wird neben reiner ASS und Salicylsäure aufgetragen (V3). Das Fließmittel wird so gewählt, dass das polare Salicylsäure-Molekül schneller läuft als das ASS-Molekül.

Nach Beendigung des Versuchs wird die Platte unter UV-Licht betrachtet. Durch die Bestimmung und den Vergleich der R_f -Werte der Proben mit denen von reiner Salicylsäure und reiner ASS lässt sich der hergestellte Wirkstoff als ASS identifizieren. Die bläulich fluoreszierende Bande ($R_f \approx 0,67$) stammt von der Salicylsäure, die rötlich fluoreszierende Bande ($R_f \approx 0,5$) stammt von ASS. Die Banden können zusätzlich durch das Eintauchen der Dünnschichtchromatografie-Platte in Eisen(III)-chloridlösung unterschieden werden. Dabei färben sich die Salicylsäure-Banden violett, die ASS-Banden gelb.

Eine leichte Bande der Salicylsäure ist aufgrund der Hydrolyse meist vorhanden. Je nach Reinheitsgrad der untersuchten ASS ist eine mehr oder weniger ausgeprägte Bande von Salicylsäure im Chromatogramm zu erkennen (B4).

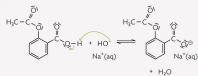


B4 Chromatogramm zweier unterschiedlicher Proben von ASS. Links: relativ reine Substanzprobe, rechts: unreine Substanzprobe mit einem hohen Anteil an Salicylsäure

Quantitative Analyse von ASS – Titration

Um eine exakte Dosierung des Schmerzmittels zu gewährleisten, muss der genaue Wirkstoffgehalt der Tablette

regelmäßig überprüft werden. Dies lässt sich bei ASS mithilfe der Säure-Base-Titration umsetzen (V4). Hierfür wird der aus einer Tablette extrahierte Wirkstoff mit Natriumhydroxidlösung als Maßlösung versetzt, bis der Äquivalenzpunkt der Neutralisationsreaktion erreicht ist (B5).



B5 Reaktionsgleichung der Neutralisation von ASS mit Natriumhydroxidlösung

Über den Verbrauch an Maßlösung lässt sich die Masse an ASS in einer Tablette berechnen (vgl. S. 12). Am Äquivalenzpunkt gilt:

$$m(\text{ASS}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) \cdot M(\text{ASS})$$

Bei der Säure-Base-Titration können jedoch Fehler auftreten: Ohne vorherige Extraktion des Wirkstoffes aus der Tablette würden Hilfsstoffe wie Natriumcarbonat die Titration verfälschen, da sie in Wasser eine basische Lösung bilden. Die Menge an Natriumhydroxidlösung $V(\text{NaOH})$, die zum Erreichen des Äquivalenzpunktes nötig ist, verringert sich. Zudem besteht die Möglichkeit, dass die Ester-Gruppe des ASS-Moleküls durch die Hydroxid-Ionen der Base hydrolytisch gespalten wird (vgl. S. 132 B3). In diesem Fall erhöht sich die Menge an Natriumhydroxidlösung zum Erreichen des Äquivalenzpunktes.

Der Schmerzmittelwirkstoff ASS lässt sich nach seiner Extraktion qualitativ und quantitativ untersuchen. Die qualitative Analyse dient der Überprüfung der Reinheit und der Charakterisierung der funktionellen Gruppen. Mithilfe der quantitativen Analyse wird der Wirkstoffgehalt in einer Tablette ermittelt.

AUFGABEN

- A1** Geben Sie begründet ein geeignetes Lösemittel für die Extraktion von Paracetamol aus einer Schmerzmitteltablette an. Nutzen Sie hierfür die Strukturformel des Paracetamol-Moleküls.
- A2** Mithilfe der Dünnschichtchromatografie lassen sich ältere von neuen, frischen ASS-Tabletten unterscheiden. Erklären Sie die chemischen Hintergründe unter Verwendung einer Reaktionsgleichung.
- A3** Auf der Verpackung einer Kopfschmerztablette findet sich die Angabe „Ibuprofen-600“. Das bedeutet, dass eine Tablette 600 mg Ibuprofen enthält. Berechnen Sie die Stoffmenge in mmol und die Teilchenzahl des in der Tablette enthaltenen Wirkstoffs. Dazu können Sie die molare Masse von Ibuprofen in der Einheit $\frac{\text{mg}}{\text{mmol}}$ verwenden.



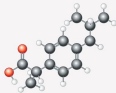
4.5 Wirkung und Darreichung von Arzneimitteln

Schmerzmittel gehören zu den am häufigsten angewendeten Medikamenten. Sie bekämpfen aber nur Symptome und nicht die körperlichen Ursachen des Schmerzes.

4.5.1 Versuche und Material

M Enantiomere des Ibuprofen-Moleküls

M1 Bauen Sie das in **B1** gezeigte Ibuprofen-Molekül mit dem Molekülbaukasten.



B1 Kugel-Stab-Modell des Ibuprofen-Moleküls

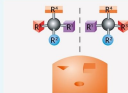
AUSWERTUNG

- a) Versuchen Sie die Atome Ihres Modells mit den entsprechenden Atomen eines Modells Ihrer Mitschüler zur Deckung zu bringen, indem Sie Teile des Modells um Einfachbindungen drehen. Vergleichen Sie dabei mehrere Modelle miteinander.
- b) Identifizieren Sie mithilfe Ihres Molekülmodells chirale Kohlenstoff-Atome im Ibuprofen-Molekül. Überprüfen Sie Ihr Ergebnis anhand des 3D-Modells unter QR-/Mediencode 06041-34.



06041-34

- c) Stellen Sie mithilfe der Abbildung **B2** eine begründete Vermutung über die unterschiedlichen Wechselwirkungen von Enantiomeren mit einem Enzym an.



- B2** Enantiomere eines Moleküls (oben) und die entsprechenden Bindestellen für die Substituenten R^1 , R^2 und R^3 im Aktiven Zentrum eines Enzyms (unten)
- d) Die dreidimensionale Darstellung von Wirkstoff-Molekülen und biologischen Strukturen am Computer (vgl. S. 64) ist für die Entwicklung von neuen Arzneimitteln von großer Bedeutung. Nennen Sie Vorteile und Probleme des computerunterstützten Wirkstoffdesigns.

V Delayed-Release-Partikel



Es gibt Medikamente, deren Wirkstoffe nach der Einnahme verzögert freigesetzt werden. Wie funktioniert das?

V2 Polymilchsäure: Geben Sie einen gehäuften Spatel Zinn(II)-chlorid und 3 mL Milchsäure in ein Reagenzglas und erhitzen Sie die Mischung bis zum Sieden. Geben Sie die gelb bis hellbraun gefärbte Schmelze in ein Becherglas. Geben Sie 50 mL Aceton zu der erstarrten Schmelze. Lassen Sie die Lösung ca. 15 Minuten stehen.

Lösung I: Geben Sie 0,5 g Natriumalginat, 0,5 g Ammoniumthiocyanat und 25 mL destilliertes Wasser in ein Becherglas und rühren Sie mit einem Pürierstab um, bis sich das Alginat vollständig gelöst hat.

Lösung II: Lösen Sie 1 g Calciumchlorid in 100 mL Wasser.

Alginatkugeln: Ziehen Sie Lösung I in eine 20-mL-Einwegspritze auf und tropfen Sie sie langsam in Lösung II.

Lassen Sie die entstandenen Alginatkugeln ca. 10 Minuten ruhen und filtern Sie sie anschließend mit einem Sieb ab. Spülen Sie die Kugeln 3 x mit dest. Wasser ab.

Verkapselung: Rühren Sie die Polymilchsäurelösung mithilfe eines Magnetrührstäbchens ca. 10 Minuten lang langsam auf dem Magnetrührer. Geben Sie die Hälfte der Alginatkugeln nach und nach zu.

Trennen Sie die Kugeln über einem Sieb von der Lösung ab und breiten Sie sie auf einem Hausaltspapier zum Trocknen aus.

Wirkungsvergleich: Lösen Sie 0,4 g Eisen(III)-chlorid ($w = 2\%$) in 20 mL Wasser und einem Tropfen verdünnter salzsaurer Lösung. Verteilen Sie die Lösung gleichmäßig auf 2 Bechergläser. Geben Sie die Alginatkugeln ohne Hülle in ein Becherglas und die umhüllten Kugeln in das andere Becherglas. Beobachten Sie beide Ansätze.

(weiteres Material zum Versuch unter
QR-/Mediencode 06041-40)



AUSWERTUNG

- Notieren Sie Ihre Beobachtungen zum Aussehen der Alginatkugeln vor und nach Zugabe der Polymilchsäurelösung. Vergleichen Sie die Freisetzung von Ammoniumthiocyanat bei den umkapselten und nicht umkapselten Alginatkugeln.
- Das verkapselte Alginat stellt ein Modell für eine Retardkapsel dar. Recherchieren Sie die Anwendung von Retardkapseln und nennen Sie mögliche Gründe für den Einsatz solcher Medikamente.
- Recherchieren Sie den Wirkeintritt eines ASS-Präparats in verschiedenen Darreichungsformen (z. B. Pulver, Tablette, Retardmedikament) und vergleichen Sie die Werte miteinander.

ENTSORGUNG: G2, G3

V Magensaftresistente Tabletten



Manche Tabletten enthalten Wirkstoffe, die ihre Wirksamkeit erst im Darm entfalten sollen. Wie wird das sichergestellt?

V3 Sie erhalten von der Lehrkraft zwei Tabletten. Planen Sie hypothesengeleitete Experimente, um herauszufinden, welche davon magensaftresistent ist. Berücksichtigen Sie Blindproben und führen Sie die Experimente nach Rücksprache mit der Lehrkraft durch. Ihnen stehen zusätzlich salzsaurer Lösung, destilliertes Wasser, Natriumhydroxidlösung und Bechergläser zur Verfügung.

V4 Ritzen Sie eine magensaftresistente Tablette mit dem Messer ein und geben Sie diese in ein Becherglas mit 20 mL salzsaurer Lösung.

AUSWERTUNG

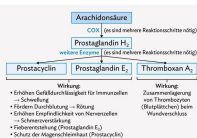
- Protokollieren Sie den Ablauf des Experiments und die Beobachtungen von **V3**. Geben Sie an, ob Ihre Hypothesen gestützt oder widerlegt wurde.
- Diskutieren Sie mögliche Gründe für die ärztliche Verschreibung von magensaftresistenten Tabletten.
- Ein Medikament darf laut Hersteller nur nach sachgerechter Lagerung und mit unbeschädigter Verpackung verwendet werden. Beurteilen Sie dies anhand Ihrer Beobachtungen aus **V4**.

ENTSORGUNG: A, R

4.5.2 Schmerzen und Schmerzmittel

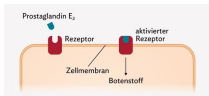
Entstehung von Schmerzen

Schmerzen sind in erster Linie ein Warnsignal und sollen dazu führen, dass wir uns schnell von der Schmerzquelle entfernen und damit weiteren Schaden für den Körper abwenden. Ist dennoch eine Schädigung des Körpers eingetreten, dann sorgen Schmerzen dafür, dass wir unseren Körper schonen und somit den Heilungsprozess begünstigen. Dabei spielen bestimmte **Gewebshormone** eine wichtige Rolle, die im Körper alle ausgehend von Arachidonsäure mithilfe der Enzyme **Cyclooxygenasen** (COX) als Katalysatoren gebildet werden (B1).



B1 Herstellung von Gewebshormonen

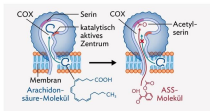
Die Gewebshormone Prostacyclin und Prostaglandin E₂ erhöhen beispielsweise die Empfindlichkeit von Nervenenden, die für die Schmerzwahrnehmung verantwortlich sind. Außerdem sorgen diese Botenstoffe für eine Weitung der Blutgefäße und erhöhen die Durchlässigkeit der Blutgefäßwände für Immunzellen. Im Gehirn wird durch Prostaglandin E₂ die Entstehung von Fieber stimuliert. Hierfür dockt das Gewebshormon im Gehirn an bestimmte Rezeptoren an, woraufhin ein Signal ins Innere der entsprechenden Zellen gesendet wird (B2). Durch das Fieber werden die Abwehr- und Heilungsprozesse des Körpers beschleunigt.



B2 Prostaglandin E₂ bindet an einen Rezeptor in der Zellmembran und bewirkt dadurch die Freisetzung von Botenstoffen in der Zelle.

Wirkung von Schmerzmitteln

Werden die Schmerzen zu stark oder wird das Fieber so hoch, dass ein lebensbedrohlicher Zustand erreicht wird, kann die Einnahme von Schmerzmitteln nötig sein. Die Wirkstoffe wirken im Körper auf unterschiedliche Weise. Einige Wirkstoffe hemmen die Cyclooxygenasen, sodass die Synthese der Gewebshormone gehemmt wird und weniger Schmerzrezeptoren aktiviert werden (B1). Bei der Einnahme von ASS wird beispielsweise der Acetat-Rest des ASS-Moleküls auf die Seitenkette des Aminocarbonsäure-Moleküls Serin im aktiven Zentrum der Cyclooxygenase übertragen (B3). Das Enzym wird irreversibel gehemmt und kann die Umsetzung von Arachidonsäure zu Prostaglandin H₂ nicht mehr katalysieren. Sie ist dauerhaft deaktiviert. Somit können auch Prostacyclin, Prostaglandin E₂, Thromboxan A₂ und weitere Gewebshormone nicht synthetisiert werden.



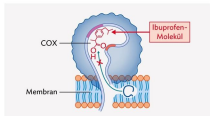
B3 Das Acetylsalicylsäure-Molekül sorgt für eine Blockade der Cyclooxygenase.

Obwohl das Medikament mit dem Wirkstoff ASS schon 1899 beim Patentamt eingetragen wurde, wurde der Wirkmechanismus des Arzneimittels erst in den 70er-Jahren des 20. Jahrhunderts entschlüsselt. Für die Entschlüsselung des Wirkmechanismus erhielt der britische Pharmakologe SIR JOHN R. VANE 1982 den Nobelpreis für Medizin. Dank ihm lassen sich viele weitere Wirkungen des ASS-Schmerzmittels erklären. Es ist nicht nur schmerzstillend und fiebersenkend, weil es die Bildung von Prostaglandinen verhindert, es hemmt auch die Blutgerinnung, weil es die Bildung von Thromboxanen

INFO

Neben den COX-Hemmstoffen gibt es auch stärkere Schmerzmittel, die Opiode. Diese sind in jedem Fall verschreibungspflichtig. Ihre Andockstellen liegen hauptsächlich im Gehirn und Rückenmark. Opiode sorgen dafür, dass extreme seelische und körperliche Belastungen abgepuffert werden. Das birgt ein hohes Abhängigkeitspotenzial.

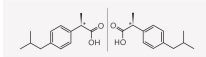
hemmt. Zudem schädigt es in hoher Dosierung die Magenwände, weil kein Prostacyclin mehr gebildet wird. Der Wirkstoff Ibuprofen (**M1**) hemmt ebenfalls die Cyclooxygenasen. Im Gegensatz zum ASS-Molekül bindet das Ibuprofen-Molekül als kompetitiver Hemmstoff (vgl. S. 82 f.) aber reversibel an das aktive Zentrum der Cyclooxygenasen und blockiert diese dadurch nicht dauerhaft (**B4**).



B4 Ibuprofen blockiert die Cyclooxygenase nicht dauerhaft.

Schmerzmittel enthalten aufgrund ihres Herstellungsprozesses meist beide Enantiomere des Ibuprofen-Moleküls. Diese unterscheiden sich durch die Anordnung der Substituenten an einem Kohlenstoff-Atom und sind daher spiegelbildlich (**M1**, **B5**). Aufgrund der dreidimensional wirkenden zwischenmolekularen Bindungskräfte blockiert nur eines der Ibuprofen-Enantiomere die Cyclooxygenasen.

In Versuchen konnte gezeigt werden, dass die Enantiomere durch ein Enzym im Körper so ineinander umge-



B5 Enantiomere des Ibuprofen-Moleküls

wandelt werden, dass dabei vermehrt das pharmazeutisch wirksame Enantiomer entsteht. Dadurch ist eine gezielte Synthese und Isolierung dieses Enantiomers bei der Produktion unnötig. Durch die Verwendung der Enantiomerenmischung werden Geld und Ressourcen gespart.

Von einigen Wirkstoffen ist der genaue Wirkmechanismus noch nicht bekannt. Paracetamol ist beispielsweise auch ein COX-Hemmstoff, soll aber zusätzlich die Weiterleitung des Schmerzreizes im Gehirn verhindern. Genauer ist jedoch noch nicht abschließend geklärt.

An der Schmerzentstehung sind unter anderem **Gewebshormone** beteiligt, für deren Bildung die Enzyme **Cyclooxygenasen** notwendig sind. ASS blockiert das aktive Zentrum der Cyclooxygenasen dauerhaft. Das Ibuprofen-Molekül bindet hingegen reversibel an das aktive Zentrum der Cyclooxygenasen, sodass diese nicht dauerhaft blockiert sind. Es ist nur ein Enantiomer von Ibuprofen pharmakologisch wirksam.

AUFGABEN

- A1** Die beiden Enzyme Cyclooxygenase I und II katalysieren dieselbe Reaktion. COX I ist in vielen Körperzellen ständig vorhanden, während COX II gezielt in verletztem oder entzündetem Gewebe hergestellt wird. Die in diesem Kapitel beschriebenen Wirkstoffe hemmen beide Cyclooxygenasen. Es existieren aber auch Wirkstoffe, die nur die COX II hemmen. Erläutern Sie mögliche Vorteile dieser Wirkstoffe gegenüber ASS oder Ibuprofen.
- A2** Bei hoher Dosierung von ASS oder Ibuprofen kann es zu Magenblutungen kommen. Geben Sie eine begründete Vermutung über die Ursache dieser unerwünschten Nebenwirkung an.
- A3** Thrombocyten (Blutplättchen) zirkulieren bis zu ihrem Abbau durchschnittlich 9 – 10 Tage im Blut. Während dieser Zeit können sie aufgrund des fehlenden Zellkerns keine neuen Cyclooxygenasen bilden.
- a)** Erklären Sie mithilfe dieser Informationen, welcher der in diesem Kapitel beschriebenen Stoffe sich am besten für die Hemmung von COX in Thrombocyten und damit für die Hemmung der Blutgerinnung eignet.
- b)** Stellen Sie eine begründete Vermutung über die gegenseitige Beeinflussung der hier beschriebenen Wirkstoffe bei der Blutgerinnungshemmung an.
- A4** In Präparaten, die den Wirkstoff Ibuprofen enthalten, werden häufig Mischungen der beiden Enantiomere des Ibuprofen-Moleküls verwendet. Es gibt jedoch auch Präparate, die nur das pharmakologisch wirksame Enantiomer enthalten. Geben Sie eine begründete Vermutung über die Vorteile des enantiomerenreinen Präparats an.

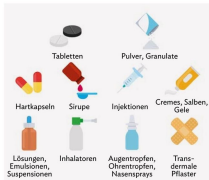
4.5.3 Darreichungsformen von Arzneimitteln

Wirkungseintritt und Wirkungsdauer

Bis ein Arzneimittelwirkstoff wirkt, können Minuten, Stunden, Tage oder sogar Wochen vergehen. Die Zeitspanne von der Einnahme des Medikaments bis zum Wirkungseintritt wird als **Latenzzeit** bezeichnet. Damit ein pharmakologischer Effekt eintritt, muss der Wirkstoff in den Körper gelangen. Das erreicht er meistens über den Blutkreislauf. Je schneller eine Substanz also im Blut ist, desto kürzer ist die Latenzzeit.

Den gewünschten Effekt auf die Körperzellen können die Wirkstoffe nur so lange entfalten, wie eine bestimmte Wirkstoffkonzentration – der **therapeutische Konzentrationsbereich** (vgl. S. 110 B1) – im Blut vorhanden ist. Durch Abbauprozesse in der Leber und den Nieren sinkt die Wirkstoffkonzentration im Blutplasma nach einer bestimmten Zeit wieder, sodass der therapeutische Effekt ausbleibt.

Somit ist auch die **Wirkungsdauer** eines Medikaments, also die Zeitspanne, während der der therapeutische Konzentrationsbereich eingehalten wird, nur begrenzt. Mit der Latenzzeit und der Wirkungsdauer eines Medikaments beschäftigt sich die **Pharmakokinetik**. Sie wird unter anderem von der Darreichungsform des Medikaments (B6) beeinflusst.



B6 Einige Darreichungsformen von Arzneimitteln

Einfluss der Darreichungsform

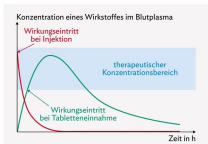
Werden Arzneistoffe dem Körper in Form von **Tabletten** zugeführt, muss der Wirkstoff den Magen passieren, im Darm aufgenommen werden, in den Blutkreislauf gelangen und sich dort konzentrieren, bis sich eine therapeutische Wirkung bemerkbar macht. Dabei ist vor allem die

Lösegeschwindigkeit des Präparats ausschlaggebend. Aus diesem Grund liegt der Wirkstoff bei ASS-Tabletten nicht nur in Reinform vor, sondern zusätzlich z.B. in Form des Natriumsalzes. Im Magensaft löst sich das Salz viel schneller als der Reinstoff (vgl. S. 125).

Ist ein schneller Wirkungseintritt gewünscht, so kommen bei Schmerzmitteln auch **Direktgranulate** zum Einsatz. Dabei wird das Arzneimittel in Form eines feinkörnigen Pulvers geschluckt. Die schnell eintretende Wirkung hängt mit der im Vergleich zu gepressten Tabletten stark vergrößerten Oberfläche der Granulat-Teilchen zusammen.

Die **Oberflächenvergrößerung** (vgl. S. 86) bewirkt eine Beschleunigung des Lösevorgangs, da die Kontaktfläche zwischen Feststoff und Lösemittel größer ist. Der Wirkstoff erreicht den Dünndarm auf diese Weise bereits in gelöster Form und kann schneller ins Blut aufgenommen werden.

Bei der **Injektion** eines Wirkstoffes direkt ins Blut tritt die Wirkung fast sofort ein (B7, rote Linie). Aus diesem Grund werden viele Notfallmedikamente dem Patienten über eine Spritze verabreicht. Dafür ist die Wirkungs-
dauer von injizierten Medikamenten meist kürzer, als die von Arzneimitteln, welche in Tablettenform verabreicht werden (B7).



B7 Konzentration eines Wirkstoffes im Blutplasma nach Einnahme einer Tablette (grüne Kurve) und bei Injektion des Wirkstoffes direkt ins Blut (rote Kurve).

Veränderte Freisetzung des Wirkstoffes

Bei manchen Medikamenten ist eine konstante Wirkstoffkonzentration notwendig, da mögliche Schwankungen gefährlich sein könnten, wie z.B. bei Hormonpräparaten, blutdrucksenkenden Medikamenten und Schmerzmitteln. Die Wirkstoffe dieser Arzneimittel können in hohen Dosen als Gifte wirken. Aus diesem Grund wird die Freisetzung des Wirkstoffes über einen längeren Zeitraum verteilt und somit verzögert (retardiert). Arz-

neistoffe mit diesen Eigenschaften nennt man **Retardmedikamente**.

Die Tabletten von Retardmedikamenten können beispielsweise von einer Polymerschicht überzogen sein (V2). Diese ist häufig aus vielen miteinander verknüpften Carbonsäureester-Molekülen (vgl. S. 14) wie dem Polymilchsäure-Molekül oder aus Polysacchariden (vgl. S. 56 f.) aufgebaut. Die Polymerschicht quillt zwar in Kontakt mit Wasser auf, löst sich aber nur langsam auf. Durch die Polymerschicht wird die Diffusion von Wirkstoffen aus dem Tablettenkern in die umgebende Darmflüssigkeit gehemmt. Die **Diffusionshemmung** sorgt dafür, dass der Wirkstoff über einen langen Zeitraum in gleichbleibender Menge freigesetzt wird (B8).



B8 Retardierung durch Diffusionshemmung mithilfe einer Polymermembran

Bei säureempfindlichen Wirkstoffen kann die Freisetzung ebenfalls gesteuert werden. Damit die Wirkstoffe erst im Dünndarm oder sogar im Dickdarm freigesetzt werden, ist die Einnahme von magensaftresistenten Tabletten nötig (V3). Diese sind mit einer Polymermembran überzo-

gen, die sich erst im basischen Milieu des Dünndarms auflöst und dort den Wirkstoff freigibt.

Retardmedikamente dürfen in der Regel nicht zerteilt werden, da die Beschichtung sonst verletzt und der Wirkstoff in hoher Konzentration freigesetzt wird (V4). Dadurch nimmt die Wirkungsdauer ab und es droht eine Überdosierung, die zu Vergiftungen im Körper führen kann. Deshalb besitzen Retardmedikamente oft keine Bruchkerbe (B9, rechts). Im Zweifel sollte man vor der Einnahme immer in der Apotheke nachfragen.



B9 Tablette mit (links) und ohne (rechts) Bruchkerbe

Arzneimittel existieren in unterschiedlichen Darreichungsformen, wie z. B. Tabletten, Granulate oder Injektionslösungen. Die Darreichungsform bestimmt die Freisetzung und somit die **Latenzzeit** und die **Wirkungsdauer** eines Arzneimittels. Durch **Retardmedikamente** kann die Freisetzung eines Wirkstoffes verzögert werden. Mit diesen Aspekten beschäftigt sich die **Pharmakokinetik**.

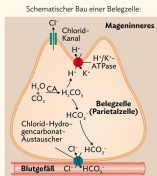
AUFGABEN

- A1** Bei Antibiotika muss über einen längeren Zeitraum eine therapeutische Wirkstoffkonzentration eingehalten werden, um Bakterien zuverlässig abzutöten. Dies wird beispielsweise erreicht, indem der Patient über den Tag verteilt mehrere Tabletten einnimmt. Skizzieren Sie analog zu **B7** die Plasmakonzentration des Antibiotikums in Abhängigkeit der Zeit.
- A2** Das Wirkstoff-Molekül ASS wird im basischen Milieu des Darms gespalten.
- Formulieren Sie eine Gleichung für die zugrundeliegende Reaktion.
 - Beschreiben und vergleichen Sie mithilfe der Reaktionsgleichung aus a) die Löslichkeit der Edukte und Produkte in Wasser.
- A3** Vergleichen Sie Latenzzeit und Wirkungsdauer eines Schmerzplasters mit denen einer Schmerztablette. Recherchieren Sie hierzu im Internet.
- A4** Planen Sie ein Experiment, mit dem Sie den Einfluss der Oberflächengröße auf die Lösegeschwindigkeit von Medikamenten feststellen können. Ihnen stehen folgende Materialien zur Verfügung: Vitamin-C-Bräusetabletten, dest. Wasser, Bechergläser, Möser, Pistill. Beginnen Sie Ihre Planung mit einer Hypothese und führen Sie das Experiment unter Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen durch.
- Protokollieren Sie den Ablauf des Experiments und Ihre Beobachtungen. Geben Sie an, ob Ihre Hypothese gestützt oder widerlegt wurde.
 - Erläutern Sie den Einfluss der Oberflächengröße auf die Lösegeschwindigkeit von Medikamenten anhand einer Grafik.
 - Nennen Sie ein Hilfsmittel in Tabletten, mit dem die Lösegeschwindigkeit erhöht wird.

Alles im Blick

1 Magensäure: Sodbrennen und Medikamente (vgl. S. 112 – 115)

Die **Magensäure** (salzsaure Lösung) ist ein wichtiger Bestandteil des Magensafts, der von den **Belegzellen** produziert wird. Zum Schutz der Magenwand vor der ätzenden Wirkung der Magensäure dient eine Schleimschicht. Der Mageneingang sorgt dafür, dass die Magensäure nicht in die Speiseröhre aufsteigen kann. Ist die Schleimschicht oder der Verschluss des Magens defekt, kann es zu **Magengeschwüren** oder **Sodbrennen** kommen.



Verschaffen eine Umstellung der Lebens- und Ernährungsgewohnheiten keine dauerhafte Linderung, sollte ein Arzt aufgesucht werden. Medikamentös lassen sich die Beschwerden durch **Antazida**, die die Magensäure neutralisieren, oder **Protonenpumpen-Hemmer**, die die Protonenpumpen in den Belegzellen hemmen und so die Säureproduktion reduzieren, behandeln.

2 Verdauungshilfsmittel (vgl. S. 120 – 121)

Die Aufgabe von **Verdauungsenzymen** ist es, langkettige Moleküle, die mit der Nahrung aufgenommen werden, durch **Enzymhydrolyse** für den Körper verwertbar zu machen. Dazu gehören vor allem Kohlenhydrat-, Fett- und Zucker-Moleküle.

Funktioniert dieser Stoffwechselprozess nicht, können Intoleranzen gegen bestimmte Nahrungsmittel die Folge sein.

Bei der Verwertung von Nahrungsbestandteilen helfen außerdem Mikroorganismen. Sie bilden die natürliche **Darmflora**, auch **Darmmikrobiom** genannt. Zur Unterstützung der natürlichen

Darmflora können dem Körper Nahrungsmittel mit Mikroorganismen, so genannte **Probiotika**, zugeführt werden. Andere Lebensmittel dienen wiederum als Nahrung für die Mikroorganismen. Solche Lebensmittel werden auch als **Präbiotika** bezeichnet.

Durch das Schlucken von Luft beim Essen und durch Verdauungsprozesse sammeln sich Gase im Darm. Dort kann es zu einer Schaumbildung kommen, die unangenehme Symptome hervorruft. **Entschäumer** sorgen für eine Zerstörung des Schaums, indem die Wirkstoffe die Oberflächenspannung der Bläschen herabsetzen.

3 Schmerzmittel – Zusammensetzung (vgl. S. 124 – 125)

Arzneimittel bestehen aus **Hilfsstoffen**, die nicht pharmakologisch wirksam sind, und den arzneilich wirksamen Bestandteilen, den **Wirkstoffen**. Hilfsstoffe dienen beispielsweise dazu, die Wirkstoffe in handhabbare Mengen zu strecken, den Geschmack eines Medikaments zu verbessern oder den Zerfall des Medikaments und damit die Freisetzung des Wirkstoffs in den Körper zu steuern.

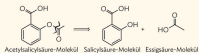
Der arzneilich wirksame Bestandteil des Medikaments, der Wirkstoff, hat in Schmerzmitteln eine schmerzstillende und zum Teil fiebersenkende und entzündungshemmende Wirkung. Die Wirkung wird durch die Struktur der Wirkstoff-Moleküle bestimmt. Vor allem die Wasserlöslichkeit der Wirkstoffe hängt von der Struktur der Moleküle ab. Das ist unter anderem ausschlaggebend für deren Freisetzung in den Körper.

3 Schmerzmittel – Synthese (vgl. S. 126 – 127)

Bei dem Wirkstoff-Molekül Acetylsalicylsäure handelt es sich um ein Carbonsäureester-Molekül, bei Paracetamol um ein Carbonsäureamid-Molekül (vgl. S. 124 B2). Beide Moleküle können durch **Kondensationsreaktionen** mit beispielsweise einem Essigsäure-Molekül synthetisiert werden.

Solche bekannten Mechanismen werden bei der **Retrosynthese** verwendet, um die Synthese eines komplexen Zielmoleküls zu planen. Dabei wird das

Molekül gedanklich mithilfe der funktionellen Gruppen in einzelne Bausteine zerlegt, wie z. B. das ASS-Molekül in ein Salicylsäure- und ein Essigsäure-Molekül:



4 Anwendung von Arzneimitteln (vgl. S. 128 – 129)

Werden Medikamente rezeptfrei in Apotheken gekauft und ohne ärztliche Anordnung eingenommen, spricht man von **Selbstmedikation**. Obwohl diese bei vielen Erkrankungen eine sinnvolle Maßnahme ist, birgt die Selbstmedikation auch Gefahren. Sie kann unter anderem zu **Medikamen-**

tenmissbrauch führen. Hierbei werden Medikamente z. B. außerhalb ihres Anwendungsgebiets oder über die verordnete Dosis oder Zeit hinaus verwendet. Durch einen langanhaltenden und missbräuchlichen Konsum von Medikamenten wie Schmerzmitteln kann eine **Abhängigkeit** entstehen.

5 Extraktion und Analyse von Schmerzmittelwirkstoffen (vgl. S. 132 – 133)

Nach der Synthese oder der Extraktion aus einem Präparat kann der Schmerzmittelwirkstoff ASS qualitativ und quantitativ untersucht werden.

Die **qualitative Analyse** dient der Überprüfung der Reinheit und der Charakterisierung der funktionellen Gruppen. Hierfür kann der Wirkstoff mit Eisen(III)-chloridlösung versetzt werden. Färbt sich die Lösung rot, ist sie mit Salicylsäure verunreinigt.

Eine weitere Möglichkeit zur Überprüfung der Reinheit eines Schmerzmittelwirkstoffes ist die Dünnschichtchromatografie.

Mithilfe der **quantitativen Analyse** wird der Wirkstoffgehalt in einer Tablette ermittelt. Dies lässt sich bei ASS mithilfe einer Säure-Base-Titration mit Natronlauge umsetzen. Hilfsstoffe in der Tablette und die Nebenreaktion der Esterhydrolyse können das Ergebnis der Titration verfälschen.

6 Wirkung und Darreichung von Arzneimitteln (vgl. S. 136 – 139)

An der Schmerzentstehung sind unter anderem **Gewebshormone** beteiligt, für deren Bildung die Enzyme **Cyclooxygenasen** notwendig sind. Die Cyclooxygenasen können durch Analgetika, wie z. B. ASS oder Ibuprofen, gehemmt werden.

ASS blockiert das aktive Zentrum der Cyclooxygenasen dauerhaft. Das Ibuprofen-Molekül bindet hingegen reversibel an das aktive Zentrum, sodass die Cyclooxygenasen nicht dauerhaft blockiert sind.

Es ist nur ein Enantiomer von Ibuprofen wirksam.

Arzneimittel existieren in unterschiedlichen **Darreichungsformen**, wie z. B. Tabletten, Granulate oder Injektionslösungen. Die Darreichungsform bestimmt die Lösegeschwindigkeit und dadurch den Wirkungseintritt und die Wirkungsdauer eines Arzneimittels mit. Durch **Oberflächenvergrößerung** oder **Diffusionshemmung** können Wirkungseintritt und -dauer reguliert werden.

Zum Üben und Weiterdenken

- A1** In einem Labor wird eine Kautablette eines Antazidums untersucht. Bei der Analyse wird festgestellt, dass diese neben Geschmacks- und Hilfsstoffen als Wirkstoffe Aluminiumhydroxid und Magnesiumhydroxid enthält. Im Labor wird zudem deren Säureneutralisationskapazität bestimmt, also die Stoffmenge an Magensäure, die das Antazidum neutralisieren kann.

Bei Sodbrennen und säurebedingten Magenbeschwerden

20 Kautabletten zum Einnehmen

Pfefferminzgeschmack

Wirkstoffe: Aluminiumhydroxid, Magnesiumhydroxid

- a) Erläutern Sie anhand von Reaktionsgleichungen die säureneutralisierende Wirkung der Antazidum-Wirkstoffe.
- b) Planen Sie ein Experiment, mit dem Sie die Säurekapazität einer Antazidum-Kautablette bestimmen können.
- A2** Bei der Einnahme eines Antazidums wird die Magensäure neutralisiert. Geben Sie eine begründete Vermutung über die Folgen einer a) Überdosierung und b) Langzeitanwendung von Antazida an.
- A3** Antazida können beispielsweise Natriumhydrogencarbonat oder Magnesiumtrisilikat als Wirkstoffe enthalten.
- a) Erklären Sie anhand von Reaktionsgleichungen die Wirkung des Hydrogencarbonat-Ions als Säure und als Base. Benennen Sie diese Eigenschaft mit einem Fachbegriff.
- b) Magnesiumtrisilikat ($Mg_2Si_2O_5$) reagiert mit Magensäure unter anderem zu Magnesiumchlorid und einer gelatinösen Masse aus Siliciumdioxid. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für diese Neutralisationsreaktion.
- A4** Protonenpumpen-Hemmer werden in der Werbung häufig als „Magenschutz“ bezeichnet. Nehmen Sie kritisch Stellung zu dieser Bezeichnung.
- A5** Recherchieren Sie im Internet zwei Antazida, die Carbonat-Ionen bzw. Hydrogencarbonat-Ionen in ihrem Wirkstoff enthalten. Erklären Sie, warum diese Antazida eine Gasansammlung im Magen-Darm-Trakt verursachen können.

- A6** Bei einer hochdosierten Therapie mit Protonenpumpen-Hemmer erhöht sich das Risiko für Schenkelhalsfrakturen („Hüftbrüche“) auf das Doppelte. Geben Sie eine begründete Vermutung für das erhöhte Frakturrisiko an. (Gestufte Hilfen finden Sie unter dem QR-/Mediencode 06041-35)



06041-35

- A7** Es gibt Kombipräparate aus Präbiotika und Probiotika, sogenannte Symbiotika.
- a) Erläutern Sie den Unterschied zwischen Präbiotika und Probiotika.
- b) Erklären Sie den synergetischen Effekt in Symbiotika.



- A8** Recherchieren Sie den Weg eines Schmerzreizes im Körper. Stellen Sie die Zusammenhänge in einer Concept-Map dar.
- A9** Mit koffeinhaltigen Schmerzmitteln erreichen fünf bis zehn Prozent mehr Patienten eine gute Schmerzlinderung als mit koffeinfreien Präparaten. Dennoch gelten solche Kombipräparate häufig als wenig geeignet für die Behandlung von Schmerzen. Recherchieren Sie Vor- und Nachteile der Verwendung von Koffein in Schmerzmitteln. Entscheiden Sie begründet, ob Sie sich eher für ein Präparat mit Koffein oder eines ohne entscheiden würden.
- A10** Die Schmerzmittelwirkstoffe ASS und Ibuprofen wirken als Hemmstoffe.
- a) Erläutern Sie die Wirkweise von ASS und Ibuprofen bei der Schmerzlinderung. Gehen Sie dabei vor allem auf Unterschiede im Wirkmechanismus ein.
- b) Begründen Sie, warum ASS auch zur Blutverdünnung eingesetzt werden kann.
- c) Bei gleichzeitiger Einnahme von ASS und Ibuprofen kann die blutverdünnende Wirkung von ASS unterdrückt werden. Geben Sie eine begründete Vermutung für diesen Sachverhalt an.
- A11** In seltenen Fällen hat das eine Enantiomer eines Wirkstoff-Moleküls sehr schwerwiegende Nebenwirkungen. Das ist beispielsweise bei Thalidomid der Fall. Recherchieren Sie die unterschiedlichen Wirkungen der beiden Enantiomere des Thalidomid-Moleküls auf den Körper.

A12 Acetylsalicylsäure und Paracetamol sind fiebersenkende und schmerzlindernde Wirkstoffe.

- Notieren Sie die Strukturformeln beider Moleküle und benennen Sie die funktionellen Gruppen.
- In beiden Molekülen sind Essigsäure-Reste vorhanden. Erläutern Sie die Schritte der Retrosynthese des ASS- und des Paracetamol-Moleküls anhand retrosynthetischer Gleichungen.
- Beide Moleküle enthalten die Grundstruktur eines Phenol-Moleküls. Phenole lassen sich über eine Blaufärbung mit Eisen(III)-chloridlösung nachweisen. Fügt man zu einer Lösung mit ASS und zu einer Lösung mit Paracetamol jeweils Eisen(III)-chloridlösung hinzu, so ergibt sich nur bei der Paracetamol-Lösung eine blaue Färbung. Erklären Sie dieses Versuchsergebnis.
- Recherchieren Sie die strukturelle Besonderheit und Mesomerie des Rings aus Kohlenstoff-Atomen im Phenol-Molekül.



A13 Acetylsalicylsäure-Tabletten wurden früher in Gläsern aufbewahrt. Bildete sich an feuchter Luft ein Geruch nach Essig, sollten die Tabletten nicht mehr verwendet werden.

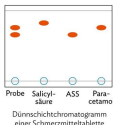


- Begründen Sie diese Empfehlung unter Verwendung einer Reaktionsgleichung.
- Beschreiben Sie einen Nachweis mit dem man feststellen kann, dass die ASS-Tabletten nicht mehr brauchbar sind.
- Beschreiben Sie die Reaktion, die abläuft, wenn im Körper aus Salicylalkohol die Salicylsäure gebildet wird.

A14 Die Selbstmedikation mit Schmerzmitteln kann zu einer Abhängigkeit führen.

- Erklären Sie den Begriff Selbstmedikation.
- Stellen Sie die Zusammenhänge der Selbstmedikation und der Schmerzmittelabhängigkeit in einer Concept-Map dar.
- Vergleichen Sie das Abhängigkeitspotenzial der beiden Schmerzmittelwirkstoffe ASS und Tilidin. Recherchieren Sie hierzu im Internet.

A15 Mit dem extrahierten Wirkstoff aus einer Schmerzmitteltablette wurde eine Dünnschichtchromatografie durchgeführt. Werten Sie das Chromatogramm hinsichtlich der Zusammensetzung des Medikaments aus.

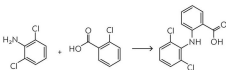


A16 Ein wichtiger Schmerzmittelwirkstoff ist Diclofenac.

- Beschreiben Sie die Struktur des Diclofenac-Moleküls. Gehen Sie dabei auch auf die Bindungs- und Molekülpolarität ein.



- Folgende Reaktionsgleichung zeigt den ersten Schritt der Diclofenac-Synthese:



Entscheiden Sie begründet, ob es sich bei dieser Reaktion um die Bildung eines Carbonsäureamid-Moleküls handelt.

- Planen Sie ein Experiment zur Reinheitsprüfung einer Diclofenac-Tablette.
- Die Wirkweise von Diclofenac ist ähnlich zu der von ASS. Erklären Sie die Wirkung der Schmerzmittel im Körper.
- Auf dem Beipackzettel eines Diclofenac-Präparats findet sich Lactose als Hilfsstoff. Recherchieren Sie die Funktion der Lactose im Medikament und erklären Sie mögliche Probleme bei der Einnahme des Präparats.

Ziel erreicht?

Verfügen Sie über die in diesem Kapitel geforderten Kompetenzen? Lösen Sie die Aufgaben auf dem Arbeitsblatt unter QR-/Mediencode 06041-36 und bewerten Sie sich mithilfe der Tabelle rechts unten.



06041-36

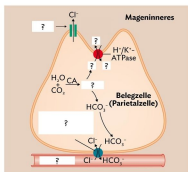
Unter QR-/Mediencode 06041-37 finden Sie außerdem eine Lernanwendung zur digitalen Überprüfung der geforderten Kompetenzen.



06041-37

KOMPETENZ A: Die Wirkung von Antazida, Protonenpumpen-Hemmern und Verdauungshilfsmitteln beschreiben und deren Einsatz beurteilen

- A1** Die Abbildung zeigt den schematischen Bau einer Belegzelle aus der Schleimhaut des Magens:



- Zeichnen Sie die Belegzelle in Ihre Unterlagen und beschriften Sie die Platzhalter.
- Beschreiben Sie die Bildung von Magensäure auf der Teilchenebene.
- Erklären Sie anhand der Abbildung die Wirkweise von Protonenpumpen-Hemmern.

- A2** In der Apotheke sind verschiedene Medikamente gegen Sodbrennen zu erhalten. Diese unterscheiden sich unter anderem durch die enthaltenen Wirkstoffe. Einige Antazida enthalten Natriumhydrogencarbonat, andere dagegen Aluminiumhydroxid.

- Formulieren Sie für beide Wirkstoffe die Reaktion mit Magensäure.
- Beschreiben Sie die Wirkweise der beiden Wirkstoffe.
- Beurteilen Sie die Behandlungsmöglichkeiten von Sodbrennen mit den beiden Wirkstoffen. Berücksichtigen Sie dabei auch mögliche Nebenwirkungen.

- A3** Definieren Sie die Begriffe Probiotika und Präbiotika.

KOMPETENZ B: Die Zusammensetzung und die Synthese von Schmerzmitteln beschreiben und deren Einsatz beurteilen

- B1** Auf dem Beipackzettel eines Schmerzmittels finden Sie folgende Inhaltsstoffe:



- Erläutern Sie den Unterschied zwischen Wirkstoff und Hilfsstoffen.
 - Recherchieren Sie die Funktion der Hilfsstoffe. Notieren Sie Ihr Ergebnis in einer Tabelle.
 - Die Einnahme von Schmerzmitteln kann gesundheitsschädlich sein. Nennen Sie drei Möglichkeiten, wie sich das Risiko von Nebenwirkungen und Komplikationen bei der Einnahme von Schmerzmitteln verringern lässt.
- B2** Sie arbeiten in einem Labor. Der Laborleiter legt Ihnen ein Molekül vor, für das Sie einen geeigneten Syntheseweg finden sollen:



- Geben Sie mithilfe einer Retrosynthese die Ausgangsstoffe für die Synthese des angegebenen Moleküls an. Begründen Sie Ihre Wahl.
- Notieren Sie den Reaktionsmechanismus ausgehend von den in Aufgabe a) gewählten Edukten bis zum Zielmolekül.
- Benennen und erklären Sie die Reaktionsschritte aus Aufgabe b). Verwenden Sie Fachbegriffe.

KOMPETENZ C: Experimente zu Wirkstoffen planen und auswerten

- C1** Ein wichtiger Schmerzmittelwirkstoff ist Paracetamol.



- Beschreiben Sie die Polarität des Kohlenstoff-Atomrings und der beiden Seitenketten.
- Planen Sie ein Experiment zur Reinheitsprüfung einer Paracetamol-Tablette.
- Stellen Sie eine begründete Hypothese auf, ob man mithilfe einer Chromatografie das Alter einer Paracetamol-Tablette abschätzen kann.

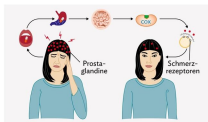
- C2** Sie finden in Ihrem Medizinschrank ein Blister Kopfschmerztabletten mit dem Wirkstoff Ibuprofen. Die Verpackung fehlt.



- Beschreiben Sie ein Experiment, mit dem Sie die in einer Tablette enthaltene Wirkstoffmenge herausfinden können.
- Erläutern Sie die Vorgehensweise bei der Berechnung der Wirkstoffmenge aus dem in a) beschriebenen Experiment.
- Beurteilen Sie, ob Sie die verpackungslosen Kopfschmerztabletten noch einnehmen sollten oder nicht. Begründen Sie Ihre Entscheidung.

KOMPETENZ D: Die Entstehung von Schmerzen beschreiben und die Wirkung und Darreichung von Arzneimitteln vergleichen

- D1** Verfassen Sie mithilfe des Bildes einen Artikel über die Wirkung von Acetylsalicylsäure für Ihren Pharmazieblog. Gehen Sie dabei auch auf die Entstehung von Schmerzen ein.



- D2** Erläutern Sie Gründe für die unterschiedliche Latenzzeit der in Tabelle B1 angegebenen Darreichungsformen eines ASS-Schmerzmittels.

Tablette	Wirkungsbeginn
Brausetablette	15 – 20 Min
Kautablette	17 – 23 Min
Standardtablette	30 Min
Retardtablette	60 Min

B1 verschiedene Darreichungsformen eines ASS-Präparats

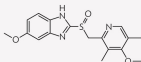
Vergleichen Sie ihre Antworten mit den Lösungen auf Seite 157 f. und kreuzen Sie auf dem Arbeitsblatt an.

Kompetenz	ja	nein	zum Nachlesen
A Die Wirkung von Protonenpumpen-Hemmern, Antazida und Verdauungshilfsmitteln beschreiben und deren Einsatz beurteilen	---	---	S. 114 – 115, 120 – 121
B Die Zusammensetzung und die Synthese von Schmerzmitteln beschreiben und deren Einsatz beurteilen	---	---	S. 124 – 129
C Experimente zu Wirkstoffen planen und auswerten	---	---	S. 132 – 133
D Die Entstehung von Schmerzen beschreiben und die Wirkung und Darreichung von Arzneimitteln vergleichen	---	---	S. 136 – 139

Klausuraufgaben

T1 Omeprazol

Protonenpumpen-Hemmer erhöhen den pH-Wert im Magen. Schäden der Magen- oder Speiseröherschleimhaut, die durch die Magensäure hervorgerufen wurden, können dadurch abheilen. Der Wirkstoff Omeprazol wird häufig als Protonenpumpen-Hemmer eingesetzt:



B1 Skelettformel des Wirkstoff-Moleküls Omeprazol

AUFGABEN

- A1 Analog zu den Regeln für Kohlenstoff-Atome können auch andere Atome Chiralitätszentren in einem Molekül sein. Entscheiden Sie begründet,

ob es sich bei dem Schwefel-Atom im Omeprazol-Molekül (B1) um ein Chiralitätszentrum handelt.

- A2 Protonenpumpen-Hemmer erhöhen den pH-Wert im Magen, obwohl die Wirkstoff-Moleküle nicht basisch sind. Erklären Sie diesen Sachverhalt.
- A3 Protonenpumpen-Hemmer können einen Einfluss auf die Bioverfügbarkeit anderer Arzneimittel haben.
- a) Erklären Sie, welche Arzneimittel im Allgemeinen nicht gleichzeitig mit Protonenpumpen-Hemmern eingenommen werden sollten.
- b) Geben Sie eine begründete Vermutung an, ob die Einnahme von Protonenpumpen-Hemmern die Pharmakokinetik magensaftresistenter Tabletten beeinflusst.

T2 Antikatermittel

Nach dem Alkoholkonsum kommt es oft zu einem Kater und typischen Beschwerden, wie Kopfschmerzen, Magenschmerzen und Übelkeit. Alkoholkonsum führt unter anderem zu einer vermehrten Bildung von Magensäure, jedoch nicht von Magenschleim. So wird mehr Magensäure als Schleim ausgeschüttet und die saure Lösung kann den Magen angreifen und verletzen. Neben dem Verzicht auf Alkohol oder einer guten Essensgrundlage wird häufig auch die Einnahme von Medikamenten vorgeschlagen. Hier finden Sie z. B. die Anti-Kater-Tipps einer Magazin-Redaktion:

Vor und nach dem Schlafen jeweils 1,5 Liter Wasser. Davon ein Glas mit Vitamin C und Magnesium. Dazu kein Magensäurehemmer. Und danach ein fettiges Frühstück.

Burak, 21

Vor dem Schlafen muss man eine Kombi aus Schmerzmittel, Elektrolyten und Magensäurehemmern nehmen. Am nächsten Tag dann Cola-Mix oder Essigkuckunwasser trinken. Das Gurkenwasser finde ich aber widerlich!

Marlene, 19

Meistens werfe ich nach drei bis vier Stunden Schlaf durch starke Kopfschmerzen und Übelkeit wach und kann nicht mehr weiterschlafen. Deswegen nehme ich vor dem Einschlafen schon eine Schmerztablette. Ansonsten esse ich trockenes Brot und trinke dazu Limo. Danach lieg' ich den ganzen Tag auf der Couch und esse fettiges Essen. Meistens ist der Tag dann gar nicht so schlimm. Manchmal freu' ich mich sogar ein bisschen auf den Katerstag.

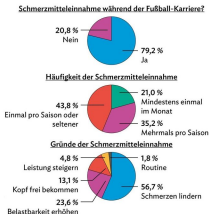
Chao, 24

AUFGABEN

- A1 Erläutern Sie, wie die Einnahme von Protonenpumpen-Hemmern gegen die alkoholbedingte Übelkeit helfen soll. Nutzen Sie hierfür eine Zeichnung.
- A2 Einige der Redaktionsmitglieder empfehlen fettiges Essen nach dem Alkoholkonsum. Geben Sie eine begründete Vermutung darüber an, ob diese Maßnahme gegen Katersymptome hilfreich ist.
- A3 Begründen Sie, dass die Einnahme von Schmerzmitteln unter Alkoholeinfluss gefährlich sein kann.
- A4 Nehmen Sie begründet dazu Stellung, ob es sich im Falle der Einnahme von Schmerzmitteln zur Bekämpfung von Kater-Symptomen um einen Medikamentenmissbrauch handelt.

T3 Konsum von Schmerzmitteln

Die Diagramme in der Abbildung B2 zeigen die Auswertung einer Befragung von über 1 000 Personen, die in ihrer Freizeit Fußball spielen.



B2 Umfrage unter 1124 Fußballspielenden im Amateurbereich zu ihrem Schmerzmittelkonsum

T4 Stärke als Sprengmittel

In einem Versuch werden 0,3 g ASS mit 0,5 g Stärkepulver in einem Mörser fein zerrieben. Eine Spritze (1) wird am dünnen Ende mit Parafilm verschlossen. Das Gemisch aus ASS und Stärkepulver wird mittels des langen Spatelöffels in Spritze 1 überführt. Das Pulver wird mithilfe des Stempels so gut wie möglich in den „Boden“ von Spritze 1 verdichtet. Das verdichtete Pulver dient als Tablettenimitation.

Auf die gleiche Weise wird eine weitere mit Parafilm am dünnen Ende verschlossene Spritze 2 mit 0,5 g reiner ASS bestückt.

100 mL dest. Wasser werden mit einigen Tropfen Universalindikator versetzt. Die entstandene grüne Lösung wird nun möglichst gleichzeitig und vorsichtig auf die beiden bestückten Spritzen sowie eine dritte, leere Spritze verteilt.

Beobachtung: Bereits kurze Zeit nach dem Überschütten mit Universalindikatorlösung zeigt sich direkt über der ASS-Stärke-Mischung eine gelbe bis rote Färbung. Durch Diffusion färbt sich nach einigen Minuten die überstehende Lösung gelblich. In der Spritze mit reiner

AUFGABEN

A1 Von einem Missbrauch spricht man, wenn Schmerzmittel über einen längeren Zeitraum ohne ärztliche Verordnung eingenommen werden und wenn die Schmerzmitteldosis dabei nicht medizinisch begründet ist. Erörtern Sie mithilfe dieser Definition und der Abbildung B2, ob man mit den hier vorliegenden Daten Schmerzmittelmisbrauch im Amateur-Fußball nachweisen kann.

A2 Entscheiden und begründen Sie mithilfe der Abbildung B2 ob die nachfolgenden Aussagen korrekt sind und korrigieren Sie diese gegebenenfalls.

- Es nehmen ca. 27,9 % aller befragten Personen mehrmals pro Saison (und nicht häufiger) Schmerzmittel ein.
- Es benutzen ca. 43,4 % aller befragten Personen Schmerzmittel nicht immer korrekt.

A3 Bewerten Sie unter Abwägung der Werte Gesundheit und sportlicher Ehrgeiz den Schmerzmittelkonsum im Amateur-Fußball zur Leistungssteigerung.

ASS ist direkt um den Feststoff nur eine gelbe Färbung zu beobachten, die grüne Lösung zeigt maximal eine leichte Aufhellung.

AUFGABEN

A1 Stellen Sie eine begründete Vermutung zur unterschiedlichen Färbung des Universalindikators in der Probe mit ASS und Stärke im Vergleich zur Probe mit reiner ASS auf.

A2 Ordnen Sie die im Versuch genutzten Stoffe begründet den Begriffen Wirkstoff und Hilfsstoff zu.

A3 Erklären Sie die Wirkung der Stärke als Sprengmittel.

A4 Beschreiben Sie einen Nachweis für die Stärke in einer Schmerzmitteltablette.

A5 Ordnen Sie Stärke einer Stoffgruppe zu. Begründen Sie Ihre Zuordnung anhand des Aufbaus von Stärke-Molekülen.

Die folgenden Seiten enthalten die Lösungen zu den Aufgaben aller „Startklar“- und „Ziel erreicht“-Seiten. Verbessern Sie Ihre Lösungen und bewerten Sie sie anhand der angegebenen Punkte (P) neben jeder Aufgabe. Addieren Sie die Punkte für jeden Kompetenzbereich und vergleichen Sie mit den Auswertungstabellen der „Startklar“-Seiten. Diese zeigen Ihnen, wie gut Sie die Kompetenzerwartungen erfüllen. **Beachten Sie**, dass es sich hier um erweiterte **Lösungsansätze** handelt, die teilweise sehr umfassend bzw. erklärend gestaltet sind.

Lösungen zu „Startklar“ Kapitel 2

Kompetenz A

- 4 BE A1** a) Der pH-Wert ist ein Maß für den Charakter einer Lösung: Saure Lösungen haben einen pH-Wert unter 7, basische Lösungen haben einen pH-Wert über 7 und neutrale Lösungen haben einen pH-Wert von genau 7.

- b) Eine Auswahl an Indikatoren:

Indikator	sauer	neutral	basisch
Universalindikator	rot	grün	blau
Bromthymolblau	gelb	grün	blau
Thymolphthalein	farblos	farblos	blau

- 7 BE A2** Um den Gehalt an Natriumhydroxid eines Rohrreinigers experimentell zu bestimmen, eignet sich die Titration. Hierzu entnimmt man der Probelösung (Lösung des Rohrreinigers) ein genau definiertes Volumen und gibt wenige Tropfen eines geeigneten Indikators, z. B. Bromthymolblau, hinzu. Mit einer Bürette wird nun unter Rühren eine saure Lösung bekannter Konzentration, die Maßlösung, zuge tropft. Wenn sich die Farbe des Indikators am Äquivalenzpunkt vollständig geändert hat, wird das verbrauchte Volumen der Maßlösung unter Beachtung des Meniskus an der Bürette abgelesen. Die Stoffmengenkonzentration kann anschließend berechnet werden, indem man die Stoffmenge der Teilchen in der verbrauchten Maßlösung zu der Stoffmenge der Teilchen in der Lösung unbekannter Konzentration in Beziehung setzt.

Kompetenz B

- 8 BE B1** a)
- $$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$$

2-Methylbutan-Molekül

$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$$

2,2-Dimethylpropan-Molekül

Die beiden Moleküle weisen die gleiche Molekülformel (C_5H_{12}) auf. Die Atome sind innerhalb des Moleküls jedoch unterschiedlich verknüpft. Man spricht daher von Konstitutionsisomerie.

- b) Die Stoffe der beiden Isomere unterscheiden sich in einigen Kenneigenschaften, z. B. den Siedetemperaturen. Die länglichere Moleküloberfläche des 2-Methylbutan-Moleküls ermöglicht ein vermehrtes Ausbilden von LONDON-Dispersionswechselwirkungen. Das 2,2-Dimethylpropan-Molekül weist im Vergleich eine kompaktere Moleküloberfläche auf. Somit besitzt 2-Methylbutan (28°C) eine höhere Siedetemperatur als 2,2-Dimethylpropan ($9,5^\circ\text{C}$).

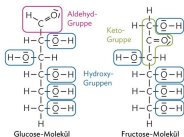
B2



4 BE

Kompetenz C

C1

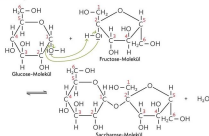


5 BE

- C2** Bei der Hydroxy-Gruppe handelt es sich um eine nukleophile Gruppe. Nukleophile Teilchen tragen mindestens ein freies Elektronenpaar und werden von positiven Partialladungen angezogen. Die Aldehyd-Gruppe des Glucose-Moleküls ist stark polarisiert und trägt ein Kohlenstoff-Atom mit einer positiven Partialladung. Somit kann ein freies Elektronenpaar des Sauerstoff-Atoms der Hydroxy-Gruppe (an C5) das Kohlenstoff-Atom der Aldehyd-Gruppe (C1) angreifen. Dadurch entsteht ein ringförmiges Molekül. Da hierbei eine Bindung an das Kohlenstoff-Atom der Aldehyd-Gruppe erfolgt, ohne dass ein anderes Atom abgespalten wird, spricht man von einer Additionsreaktion.

6 BE

8BE C3 a)



b) Halbacetal, z. B. Glucose-Molekül:

An ein Kohlenstoff-Atom sind eine Sauerstoff-Atombrücke, eine Hydroxy-Gruppe, ein Alkyl-Rest und ein Wasserstoff-Atom gebunden.

Vollacetal, z. B. Saccharose-Molekül:

Reagiert ein Halbacetal mit einer weiteren Hydroxy-Gruppe eines anderen Moleküls (hier: Fructose), bildet sich unter Abspaltung von Wasser ein sogenanntes Vollacetal, das nun eine zweite Sauerstoff-Atombrücke enthält.

Kompetenz D

7BE D1 a) Edukte:

- (dreiwertiges) Alkohol-Molekül: drei Hydroxy-Gruppen
- (drei) Fettsäure-Moleküle: je eine Carboxy-Gruppe

Produkte:

- Fett-Molekül: drei Ester-Gruppen
- (Nebenprodukt: Wasser)

b) Gesättigte Fettsäure-Reste haben nur Einfachbindungen zwischen den Kohlenstoff-Atomen, ungesättigte Fettsäure-Reste haben eine oder mehrere Doppelbindung(en) zwischen zwei Kohlenstoff-Atomen.

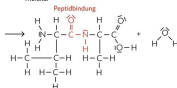
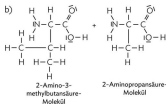
c) Gesättigte Fettsäure-Reste weisen aufgrund der Einfachbindungen zwischen den Kohlenstoff-Atomen eine lineare Struktur auf. Zwischen den Fett-Molekülen mit wenigen ungesättigten Fettsäure-Resten bilden sich aufgrund dessen stärkere LONDON-Dispersionswechselwirkungen aus. Fette mit solchen Molekülen schmelzen erst bei hohen Temperaturen und sind bei Raumtemperatur fest.

D2 a) Aminocarbonsäure-Moleküle besitzen alle eine **Carboxy-Gruppe** und eine benachbarte **Amino-Gruppe**. Der **Aminocarbonsäure-Rest**

R ist bei jedem Aminocarbonsäure-Molekül unterschiedlich.



8BE



Kompetenz E

E1

	Aldehyd-Gruppe	Hydroxy-Gruppe	Keto-Gruppe
Silberspiegelprobe	x		
SCHIFFsche-Probe	x		
Ammoniumcer(IV)-nitrat		x	
Dinitrophenylhydrazin	x		x

5BE

E2 Für die Beantwortung dieser Aufgabe können verschiedene experimentelle Vorgehensweisen zum Ziel führen.

Eine mögliche Lösung:

Zunächst wird der Nachweis mit Ammoniumcer(IV)-nitrat durchgeführt. Bei Propansäure fällt dieser Nachweis negativ aus, d. h. nur bei Milchsäure und Ethanol tritt eine tiefrote Färbung der Lösung auf. Um Ethanol und Milchsäure zu unterscheiden, kann ein Universalindikator verwendet werden. Bei Milchsäure färbt sich dieser rot, bei Ethanol grün.

4BE

Lösungen zu „Ziel erreicht“ Kapitel 2

Kompetenz A

A1 a) Die Aussage ist nicht korrekt. „Makros“ stammt

aus dem Griechischen und bedeutet „groß“. Jedoch ist damit nicht die Molekülgröße gemeint, sondern der Fakt, dass man diese Nährstoffe im Gegensatz zu den Mikronährstoffen in relativ großen Mengen aufnehmen muss. Makronährstoffe beinhalten auch Stoffe mit vergleichsweise kleinen Molekülen z. B. Glucose, die im Verdauungstrakt nicht erst gespalten werden müssen sondern direkt ins Blut aufgenommen werden können.

- b) Makronährstoffe (Kohlenhydrate, Fette und Proteine) dienen u. a. der Energieversorgung der Zellen und müssen deshalb regelmäßig in ausreichender Menge aufgenommen werden. Mikronährstoffe sind lebensnotwendige Stoffe, welche nur in geringen Mengen benötigt werden. Zu ihnen zählen u. a. Vitamine und Mineralsalze.

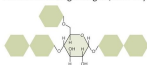
A2 a) A)

- funktionelle Gruppen: Hydroxy- und Carboxy-Gruppe
- Protein: aufgrund der Peptidbindungen zwischen den Aminosäure-Bausteinen

B)

- funktionelle Gruppen: Ester-Gruppe
- Fett: aufgrund der drei Ester-Gruppen; Ein Fett entsteht durch die Reaktion von Fettsäuren mit einem dreiwertigen Alkohol.

- b) dritte Nährstoffgruppe: Kohlenhydrate
Diverse Darstellungen möglich, z. B. Amylopektin:



- A3 „Ähnliches löst sich in Ähnlichem.“ Das hier dargestellte Vitamin trägt sehr viele polare Hydroxy-Gruppen. Aufgrund dessen ist es in dem hydrophilen Lösemittel Wasser gut löslich.

- A4 Diverse Antworten möglich, z. B. Vitamin A: für den Sehvorgang wichtig, unterstützt das Wachstum und die Neubildung von Zellen und stärkt die Nasenschleimhaut als Barriere gegen Krankheitserreger.

Kompetenz B

- B1 Mithilfe der der LUGOLschen Lösung kann ein Lebensmittel auf den Inhaltsstoff Stärke getestet werden. Hierzu wird das zu testende Lebensmittel

mit einer Iod-Kaliumiodidlösung (orange) versetzt. Bei einem positiven Nachweis tritt, je nach Konzentration der Stärke, eine Verfärbung von dunkelblau über violett bis schwarz ein.

B2

pH-Wert:	ca. 6,5
Glucose-Gehalt:	ca. + 250 mg/dL
Keton-Gehalt:	ca. + 5 mg/dL

B3

Bei der Dünnschichtchromatographie (DC) handelt es sich um ein analytisches Trennverfahren für Stoffgemische, das sowohl qualitative als auch (halb)quantitative Aussagen über die Zusammensetzung von Stoffgemischen ermöglicht. Die Trennung basiert darauf, dass sich verschiedene Teilchen wegen unterschiedlich starker Wechselwirkungen auch unterschiedlich stark auf zwei verschiedene Phasen verteilen. Die unbewegliche, stationäre Phase besitzt eine riesige Oberfläche, mit der Teilchen in Wechselwirkung treten können. Dieses Anlagern bzw. Anhaften an eine Oberfläche nennt man Adsorption. Bei der mobilen Phase handelt es sich um eine mit der stationären Phase nicht mischbare Flüssigkeit. Diese nennt man Fließmittel. Bei einer DC fließt dieses aufgrund der Kapillarkraft von unten nach oben. Verschiedene Stoffe eines Stoffgemisches adsorbieren unterschiedlich stark an ein Trägermaterial. Ursache ist die unterschiedliche Polarität der Moleküle. Die vom Fließmittel mitgeführten Teilchen werden an der stationären Phase wiederholt adsorbiert, wieder desorbiert und durch Lösemittel-Teilchen ersetzt. Stoffe mit starker Adsorption an die stationäre Phase benötigen mehr Zeit, um von der mobilen Phase „nach oben“ transportiert zu werden.

Kompetenz C

- C1 Abbildung siehe S. 42 B3.

Ein Polarisator erzeugt linear polarisiertes Licht. Steht der Analysator senkrecht zum Polarisator, kommt es zur Auslöschung der Lichtquelle. Wird eine optisch aktive Substanz in die Probenkammer gefüllt, dreht diese die Schwingungsebene des linear polarisierten Lichts und auf der Projektionsfläche erscheint ein Lichtfleck.

- C2 Die Interpretation ist falsch: Die D- und L-Konfiguration einer Verbindung lässt keine Aussage über die Drehrichtung zu. Für eine eindeutige Kennzeichnung der Drehrichtung einer Verbindung wurden in der Nomenklatur die Zeichen (+)

und (-) eingeführt. Außerdem dreht die optisch aktive Substanz das linear polarisierte Licht nicht um 40° nach rechts, sondern nach links.

- C3** Es handelt sich um die D-Arabinose, da die Hydroxy-Gruppe des vierten Kohlenstoff-Atoms in der FISCHER-Projektion rechts steht.

FISCHER:



HAWORTH:



- C4** a und b sowie b und c sind jeweils Diastereomere. a und c sind Enantiomere.

Von diesen drei Stereoisomeren verhält sich nur das Paar a-c wie Bild und Spiegelbild zueinander. Man bezeichnet solche Isomere als Enantiomere oder auch Spiegelbildisomere. Stereoisomere, die sich nicht wie Bild und Spiegelbild verhalten, bezeichnet man als Diastereomere.

Kompetenz D

D1

Cellulose	wasserunlöslich, Ballaststoff
Fructose	wasserlöslich, Energielieferant (jedoch nur indirekt)
Glucose	wasserlöslich, Energielieferant
Lactose	wasserlöslich, Energielieferant
Glycogen	wasserunlöslich, Energiespeicher

- D2** Aus der Struktur eines Stoffes sind dessen physikalische (und chemische) Eigenschaften ableitbar. So weisen Kohlenhydrat-Moleküle in der Regel zahlreiche polare Hydroxy-Gruppen auf, welche die gute Löslichkeit in hydrophilen Lösemitteln, wie z. B. Wasser, erklären.

- D3** Aminocarbonsäure-Moleküle besitzen alle eine Carboxy-Gruppe, eine benachbarte Amino-Gruppe und einen Aminocarbonsäure-Rest R. „L“ bedeutet, dass die Amino-Gruppe in FISCHER-Projektion links steht. „2“ steht für die Position der Amino-Gruppe am Kohlenstoff-Atom 2. Ein Protein entsteht durch die Reaktion von Aminocarbonsäuren miteinander. Die Carboxy-Gruppe eines Aminocarbonsäure-Moleküls reagiert mit der Amino-Gruppe eines anderen Aminocarbonsäure-Moleküls. Die dabei entstehende Peptidbindung verbindet einzelne Aminocarbonsäure-Moleküle zu einer Kette.

- D4** Diverse Antwortmöglichkeiten, z. B.:

hydrophil	Vitamin C, Mineralsalze, zahlreiche Kohlenhydrate
lipophil	Fette, Öle
amphiphil	Fettsäuren, Emulgatoren (z. B. Lecithin)

Die Bedeutung für den Körper muss entsprechend des eigenen Beispiels ergänzt werden.

Kompetenz E

E1

Kohlenhydrate	Fette	Proteine
idR. schnelle Energielieferanten	Energiespeicher und Träger fettlöslicher Vitamine	Baustoffe, Stickstofflieferant (Transportvorgänge, Stützfunktion etc.)

- E2** a) Proteine und Omega-3-Fettsäuren sind vermehrt in tierischen Lebensmitteln vorhanden, weshalb bei einer ausgewogenen Ernährung darauf geachtet werden muss, diese in ausreichender Menge durch pflanzliche Lebensmittel zuzuführen. Proteine sind beispielsweise in Erbsen, Linsen und Haferflocken zu finden. Omega-3-Fettsäuren kann man zum Beispiel über kaltgepresstes Leinöl und Walnüsse aufnehmen. Vitamin B12 ist in ausreichender Menge nur in tierischen Lebensmitteln enthalten, weshalb dies bei veganer Ernährung häufig mit Nahrungsergänzungsmitteln erfolgen muss.
- b) Sportliche Höchstleistungen erfordern eine ausreichende und abwechslungsreiche Zufuhr an Nährstoffen. Dies ist unabhängig davon, welche Ernährungsweise man verfolgt, da auch eine durchdachte und bewusste vegane Ernährung diese Kriterien erfüllen kann.

Lösungen zu „Startklar“ Kapitel 3

Kompetenz A

A1



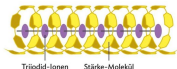
6 BE

- 6 BE A2** a) Richtig.
 b) Falsch. Fette sind Makronährstoffe, die für eine gesunde Ernährung wichtig sind. Sie sollten nur nicht übermäßig verzehrt werden.
 c) Falsch. Fette entstehen aus Fettsäuren und Glycerin. Fett-Moleküle enthalten also Fettsäure-Reste.
 d) Falsch. Makronährstoffe dienen unter anderem der Energiebereitstellung.
 e) Falsch. Mikronährstoffe werden ebenso (wenngleich auch in geringeren Dosen) für das Überleben benötigt.

- 2 BE A3** Das Molekül enthält polare Hydroxy- und Carboxy-Gruppen. Da es unsymmetrisch ist, weist es insgesamt Molekülpolarität auf. Das Vitamin ist somit hydrophil und löst sich in Wasser.

Kompetenz B

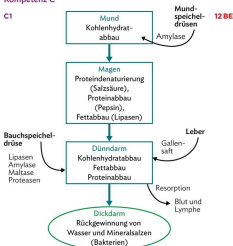
- 4 BE B1** FEHLING-Probe (auch mit Fructose positiv)
 Silber-Spiegelprobe (auch mit Fructose positiv)
 GOD-Test (mit Fructose negativ)
- 4 BE B2** lila: positiv; farblos: negativ
 Der Nachweis beruht darauf, dass Iod-Moleküle mit Iodid-Ionen zu Triiodid-Ionen reagieren und sich diese in die Helix der Stärke-Moleküle einlagern können. Dies ruft auf Stoffebene eine Blaufärbung hervor.



- 5 BE B3** Auf einem Löffel werden je 3 – 4 Tropfen FEHLING-I-Lösung (Kupfer(II)-sulfatlösung) und FEHLING-II-Lösung (Kaliumnatriumtartratlösung und Natronlauge) vermischt. Nun werden wenige Tropfen der zu testenden Stoffprobe hinzugefügt und vorsichtig über einem Teelicht erwärmt. Färbt sich die Lösung orange-rot, ist die Probe positiv.

Kompetenz C

C1



- C2** Es soll das Schlüssel-Schloss-Prinzip verdeutlicht werden. Das Schlüssel-Schloss-Prinzip ist ein biologisches Prinzip, das an verschiedenen Stellen im Körper zur Veranschaulichung angewendet werden kann. Dieses biologische Prinzip besagt, dass bestimmte Bausteine im Körper durch ihre Form wie der Schlüssel zu einem Schloss passen. Durch das genaue Zusammenpassen dieser Bausteine verbinden sie sich, wenn sie aufeinandertreffen. Sobald diese Verbindung hergestellt ist, wird eine Reaktion ausgelöst, z. B. das Spalten eines Grundnährstoffs durch das dazu passende Enzym.

4 BE

- C3** Verdauung ist die enzymatisch katalysierte Spaltung der aufgenommenen Nahrung in die Grundbausteine der Nährstoffe mithilfe verschiedener Organe. Unter Resorption versteht man die Aufnahme der Grundbausteine der Nährstoffe durch die Darmwand (u. a. im Dünndarm) in Lymphe und Blut. Die Begriffe können dementsprechend nicht synonym verwendet werden. Die Resorption kann erst nach der Verdauung erfolgen.

3 BE

Kompetenz D

- 4BE D1** Frotteehandtücher haben eine größere Oberfläche, an der sich mehr Wasser-Moleküle anlagern können:



- 6BE D2 a)**



- b) Durch die Darmfalten und Darmzotten ist die Oberfläche der Dünndarmwand stark vergrößert. Es können in gleicher Zeit mehr Nährstoffe aufgenommen (resorbiert) werden, wie dies bei einer glatten Dünndarmwand der Fall wäre.

Lösungen zu „Ziel erreicht“ Kapitel 3

Kompetenz A

- A1** a) Falsch. Der Substrat-Enzym-Komplex reagiert zum freien Enzym und dem freien Produkt-Molekül.
b) Richtig
c) Falsch. Die spezifische Bindung des Substrat-Moleküls an das aktive Zentrum eines Enzyms bezeichnet man als Substratspezifität.
- A2** a) Die Reaktion ist keine Hydrolysereaktion, da zwar eine Reaktion mit Wasser stattfindet, es sich aber nicht um eine Spaltung einer Verbindung handelt.
b) Es handelt sich um eine Hydrolysereaktion, da die Spaltung einer Verbindung durch Reaktion mit Wasser erfolgt.
c) Es handelt sich um eine Hydrolysereaktion, da die Spaltung einer Verbindung durch Reaktion mit Wasser erfolgt.

A3

	allosterischer Hemmstoff	kompetitiver Hemmstoff
Ähnlichkeit zwischen Substrat und Hemmstoff	keine Ähnlichkeit	Substrat und Hemmstoff sind sich ähnlich
Bindungsort des Hemmstoffes	allosterisches Zentrum	aktives Zentrum
Einfluss des Hemmstoffes auf das aktive Zentrum	Veränderung des aktiven Zentrums durch Bindung des Hemmstoffes an das allosterische Zentrum	Blockierung des aktiven Zentrums durch den Hemmstoff

Kompetenz B

- B1** a) Das Sprichwort ist richtig. Damit die Bestandteile der Nahrung im Verdauungstrakt gespalten und aufgeschlossen werden können, müssen sie mit den Verdauungsenzymen in Kontakt treten. Bereits im Mund wird die Nahrung durch Kauen zerkleinert, wodurch sich die Gesamtoberfläche der Nahrungsbestandteile erhöht (Oberflächenvergrößerung).
b) Stärkelösung (Amyloselösung) wird in ein Reagenzglas gegeben und mit Speichel bzw. Amylase versetzt. Der Nachweis, dass Stärke gespalten wurde, kann mit Iod-Kaliumiodidlösung erfolgen: Findet keine Verfärbung statt, liegt keine Stärke mehr vor, da die Stärke-Moleküle enzymatisch zersetzt wurden.
- B2** Gibt man Eiklar in salzsäure Lösung, so entsteht ein weißer Niederschlag. Der niedrige pH-Wert führt zu einer Veränderung der Struktur der Proteine. Durch die Denaturierung kommt es meist zu einer irreversiblen Entfaltung der Molekülketten, wodurch die Gesamtoberfläche der Protein-Moleküle vergrößert wird. Das Verdauungsenzym Pepsin hat somit eine große Angriffsfläche.
- B3** a) In Reagenzglas (RG) A trennt sich die wässrige von der öligen Phase, in RG B nicht. Die Ochsen-galle wirkt hier also als Emulgator. Aus der starken Rotfärbung in RG B lässt sich schließen, dass durch die Emulgierung wesentlich mehr Fett-Moleküle enzymatisch gespalten wurden. (Es sind also mehr Fettsäure-Moleküle entstanden, die zu einer Absenkung des pH-Werts und zu einer Rotfärbung des Indikators führen.)
b) Galle enthält Salze der Gallensäuren, die zu den natürlichen Tensiden gehören. Die Fett-Moleküle werden von den Gallensäure-Anionen umgeben, wodurch sich Micellen

bilden. Die negativ geladenen, polaren Bereiche der Gallensäure-Anionen zeigen in Richtung der Wasser-Moleküle, während die unpolaren Bereiche in Richtung der Fett-Moleküle zeigen. Dadurch werden Fett und Wasser emulgiert und das Fett in viele kleine Stoffportionen zerteilt, sodass eine größere Oberfläche des Fettes entsteht. Durch das Prinzip der Oberflächenvergrößerung durch Emulgierung wird die Wechselwirkung von Fett-Molekülen mit Lipasen erleichtert und die Spaltung der Fett-Moleküle beschleunigt. Skizze siehe S. 87 B3.

Kompetenz C

- C1** Unter Resorption versteht man die Aufnahme der ggf. gespaltenen (verdauten) Nahrungsbestandteile unter anderem über die Darmschleimhäute des Dünndarms.
- C2** a) Kleine, unpolare Moleküle, wie Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxid-Moleküle, können Zellmembranen direkt mittels Diffusion passieren.
 b) Polare Moleküle sowie Ionen gelangen entlang eines Konzentrationsgefälles über Tunnelproteine durch die Zellmembran, z. B. Kalium-Ionen.
 c) Der Transport anderer polarer Moleküle, wie Glucose-Moleküle, erfolgt über spezifische Carrierproteine.

Kompetenz D

- D1** Äpfel enthalten viel Fructose. Da bei Personen mit einer Fructose-Malabsorption eine eingeschränkte Transportkapazität eines Transportproteins der Dünndarmzellen vorliegt, kann Fructose nicht in großen Mengen im Dünndarm resorbiert werden. Sie gelangt daher in den Dickdarm und wird dort von Bakterien u. a. zu Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff zerlegt, was Blähungen und Bauchschmerzen verursachen kann.
- D2** Unter dem Darmmikrobiom versteht man die Gesamtheit der Bakterien, die im Dickdarm angesiedelt ist. Die Bakterien spalten einige für den Menschen unverdauliche Stoffe durch Gärungs- und Fäulnisprozesse. Dabei werden teilweise Fettsäuren und Vitamine gebildet. Außerdem werden Mineralsalze und Wasser resorbiert. Da das Darmmikrobiom sehr anpassungsfähig ist, verliert die genaue Zusammensetzung von Mensch zu Mensch. Die individuelle Ernährung beeinflusst dabei die Zusammensetzung.

Kompetenz E

- E1** **Aussage 1:** Eine Ernährung, die auf einem reichhaltigen Fleischkonsum beruht, ist klimaschädlich. Die Produktion von einem Kilogramm Rindfleisch bewirkt eine ca. 16 Mal höhere Emission an Treibhausgasen als die Produktion von einem Kilogramm Erbsen. Die Reduktion von Fleisch, Fisch, Eiern und Milchprodukten würde somit den ökologischen Fußabdruck verkleinern und ist umweltfreundlich. Auch beim Kauf pflanzlicher Fleischersatzprodukte muss auf eine nachhaltige Produktion geachtet werden. Durch unser Kaufverhalten können wir das Angebot in den Supermärkten beeinflussen.
- Aussage 2:** Durch den Verzicht auf Obst und Gemüse ist die Ernährung sehr einseitig und nicht gesund. Es fehlen vor allem Mikronährstoffe und Ballaststoffe. Es könnte zu Mangelerscheinungen bei Mineralsalzen und Vitaminen kommen. Zudem fehlen die für das Darmmikrobiom wichtigen Ballaststoffe, wodurch es zu Verstopfung kommen kann. Da auch nur tierische Fette aufgenommen werden, fehlen die essenziellen mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Für eine ausgewogene Ernährung sollten etwa ein Drittel der aufgenommenen Lebensmittel aus dem Bereich Gemüse kommen und ca. 10 % aus dem Bereich Obst.

- E2** Lange Transportwege der Lebensmittel, Ausstoß von Kohlenstoffdioxid bei der Produktion, Abholzung von Regenwäldern für Anbauflächen, hoher Wasserverbrauch beim Anbau und Energieverbrauch durch notwendige Kühlung der Lebensmittel sind Beispiele, die bei der Ernährung den ökologischen Fußabdruck beeinflussen.

Lösungen zu „Startklar“ Kapitel 4

Kompetenz A

- A1** a) $2\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{Na}^+(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$ **6 BE**
 $\rightarrow 4\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$
 Durch Eindampfen entsteht das Salz Natriumsulfat Na_2SO_4 .
 b) $2\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + 2\text{NO}_3^-(\text{aq}) + \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$
 $\rightarrow 4\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{NO}_3^-(\text{aq}) + \text{Ba}^{2+}(\text{aq})$
 Durch Eindampfen entsteht das Salz Bariumnitrat $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.
- A2** Bei der Neutralisationsreaktion wird ein Proton vom Oxonium-Ion auf das Hydroxid-Ion übertragen, wodurch zwei Wasser-Moleküle entstehen. Es handelt sich also um eine Protonenübertra-

gungsreaktion, nicht um eine Elektronenübertragungsreaktion.

5BE A3 a) geg.: $c = 0,05 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$, $V = 100 \text{ mL}$, $M = 56,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$
ges.: m

$$n = c \cdot V = 0,05 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,1 \text{ L} = 0,005 \text{ mol}$$

$$m = n \cdot M = 0,005 \text{ mol} \cdot 56,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,2805 \text{ g} \approx 0,3 \text{ g}$$

b) geg.: $c(\text{KOH}) = 0,05 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$, $V(\text{KOH}) = 25 \text{ mL}$, $V(\text{HCl}) = 15 \text{ mL}$
ges.: $c(\text{HCl})$

$$n(\text{KOH}) = c(\text{KOH}) \cdot V(\text{KOH}) = 0,05 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,025 \text{ L} = 0,00125 \text{ mol} = n(\text{HCl})$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V(\text{HCl})} = \frac{0,00125 \text{ mol}}{0,015 \text{ L}} = 0,083 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Kompetenz B

3BE B1 Betrachtet man die Ester-Gruppe isoliert, handelt es sich um eine polare funktionelle Gruppe. Das Kohlenstoff-Atom der Ester-Gruppe trägt eine positive Partialladung, während die Sauerstoff-Atome jeweils negative Partialladungen tragen. Zu beiden Seiten der Ester-Gruppe befinden sich unpolare Alkyl-Reste, sodass die Moleküle der Carbonsäureester insgesamt meist eine geringe Polarität aufweisen.

5BE B2 Zwischen Pentan-1-ol-Molekülen können sich aufgrund des stark positiv polarisierten Wasserstoff-Atoms und der freien Elektronenpaare am Sauerstoff-Atom Wasserstoffbrücken ausbilden. Propansäuremethylester-Moleküle haben kein stark positiv polarisiertes Wasserstoff-Atom. Zwischen den Molekülen sind deshalb nur schwächere Dipol-Dipol-Wechselwirkungen und LONDON-Dispersionskräfte möglich. Zur Überwindung der Anziehung zwischen Pentan-1-ol-Molekülen wird somit mehr Energie benötigt, als bei Propansäuremethylester-Molekülen. Daher ist die Siedetemperatur von Pentan-1-ol höher als die von Propansäuremethylester.



Propansäuremethylester-Molekül

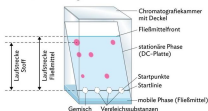


Pentan-1-ol-Molekül

B3 Bei der Dünnschichtchromatografie (DC) wird das Stoffgemisch auf eine DC-Platte (stationäre Phase) aufgetragen und die Platte anschließend in ein Gefäß mit einem Fließmittel (mobile Phase) gestellt. Dabei wird die Tatsache ausgenutzt, dass verschiedene Stoffe unterschiedlich stark an die stationäre Phase binden bzw. sich unterschiedlich gut in der mobilen Phase lösen.

Das Fließmittel wird an der DC-Platte nach oben gesogen. Handelt es sich bei der stationären Phase z. B. um einen hydrophilen Stoff und bei der mobilen Phase um einen hydrophoben Stoff, so bindet ein hydrophiler Reinstoff aufgrund der stärkeren zwischenmolekularen Wechselwirkungen bevorzugt an die stationäre Phase und wird nur eine kurze Laufstrecke auf der DC-Platte aufweisen.

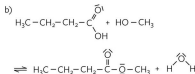
Andere Bestandteile werden weiter nach oben getragen. Auf diese Weise werden die Bestandteile voneinander getrennt.



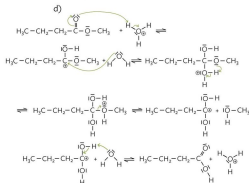
Kompetenz C

C1 Die Hydrolyse beschreibt eine Reaktion, bei der eine chemische Verbindung durch die Reaktion mit einem Wasser-Molekül gespalten wird. Bei der Esterspaltung wird das Ester-Molekül mit einem Wasser-Molekül zur Reaktion gebracht, wobei das Molekül in ein Carbonsäure-Molekül und ein Alkohol-Molekül gespalten wird.

C2 a) Butansäure und Methanol

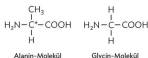


c) Nukleophil-Elektrophil-Reaktion: Das Methanol-Molekül reagiert als Nukleophil. Es greift mit dem freien Elektronenpaar am Sauerstoff-Atom das positiv polarisierte Carbonyl-Kohlenstoff-Atom des Carbonsäure-Moleküls (Elektrophil) an, sodass sich eine neue Elektronenpaarbindung bildet.



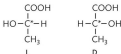
Kompetenz D

4 BE D1



Beim Alanin-Molekül sind am Kohlenstoff-Atom vier verschiedene Substituenten gebunden, weshalb es sich um ein chirales Molekül handelt. Beim Glycin-Molekül sind zwei Wasserstoff-Atome am Kohlenstoff-Atom gebunden, weshalb es sich nicht um ein chirales Molekül handelt.

3 BE D2



Das Milchsäure-Molekül hat ein chirales Kohlenstoff-Atom, an dem die Position der Hydroxy-Gruppe variieren kann. Daher gibt es zwei Enantiomere (siehe Abbildung).

D3 Es handelt sich nicht um ein chirales Molekül, da



an allen Kohlenstoff-Atomen je nur drei verschiedene Substituenten gebunden sind. Die Kohlenstoff-Atome, die in der Abbildung links und rechts dargestellt sind, haben jeweils zwei

Wasserstoff-Atome gebunden. Am Kohlenstoff-Atom in der Mitte sind zwei Kohlenstoff-Atome mit jeweils den gleichen Gruppen gebunden.

3 BE

Kompetenz E

E1 Aus dem Schlüssel-Schloss-Prinzip geht hervor, dass Enzyme meist nur mit einer bestimmten Art von Substrat-Molekülen wechselwirken und diese umsetzen können. Man spricht daher von der Substratspezifität.

Außerdem setzen Enzyme ein Substrat immer auf eine bestimmte Weise um. So wird Brenztraubensäure von einem Enzym zu Alanin und von einem anderen Enzym zu Milchsäure umgesetzt. Diese Eigenschaft nennt man Wirkungsspezifität.

2 BE

E2 Temperatur, pH-Wert, Substratkonzentration

3 BE

E3 Es gibt viele verschiedene Proteine, die über die Nahrung aufgenommen werden. Aufgrund der Substratspezifität der Enzyme, sind also auch viele verschiedene Enzyme nötig, um die Proteine im Rahmen der Verdauung umzusetzen.

2 BE

E4 a)

3 BE

1	Substrat
2	Inhibitor/Hemmstoff
3	Enzym
4	Inhibitor-Enzym-Komplex

b) kompetitive Hemmung

Lösungen zu „Ziel erreicht“ Kapitel 4

Kompetenz A

- A1** a) siehe **B2** auf S. 112
- b) Protonen/Kalium-Pumpen (= H^+/K^+ -ATPase) transportieren Protonen unter ATP-Verbrauch in das Mageninnere und nehmen dafür Kalium-Ionen auf. Die Protonen wurden mithilfe des Enzyms Carboanhydrase (CA) aus Wasser- und Kohlenstoffdioxid-Molekülen gebildet. Dabei entstehen auch Hydrogencarbonat-Anionen. Die Hydrogencarbonat-Anionen werden über einen Chlorid-Hydrogencarbonat-Austauscher aus den Zellen transportiert. Im Austausch gelangen Chlorid-Ionen aus dem Blutplasma in die Zellen und gehen über einen Chlorid-Kanal in das Mageninnere über. Zusammen mit den Protonen und Wasser entsteht im Magen eine salzsäure Lösung.
- c) (siehe auch **B8** auf S. 115)
Protonenpumpen-Hemmer werden durch die Protonen der Belegzellen in eine aktive Form umgewandelt. Die aktivierte Form der Protonenpumpen-Hemmer bindet irreversibel an die H^+/K^+ -ATPase. Dadurch wird die Protonen/Kalium-Pumpe blockiert, sodass die Freisetzung von Protonen in den Magen gehemmt und die Säureproduktion verringert wird. Der pH-Wert des Magensaftes steigt an.
- A2** a) Wirkstoff Natriumhydrogencarbonat:

$$NaHCO_3 + H_3O^+ + Cl^- \longrightarrow Na^+ + Cl^- + 2 H_2O + CO_2$$
 Wirkstoff Aluminiumhydroxid:

$$Al(OH)_3 + 3 H_3O^+ + 3 Cl^- \longrightarrow Al^{3+} + 3 Cl^- + 6 H_2O$$
- b) Die beiden Wirkstoffe neutralisieren die Magensäure ohne die natürliche Säureproduktion zu beeinflussen.
- c) Beide Wirkstoffe werden zur kurzfristigen Therapie akuter Beschwerden eingesetzt, da sie die Magensäure abmildern und die natürliche Säureproduktion nicht beeinflussen. Natriumhydrogencarbonat reagiert mit der Magensäure unter Freisetzung von Kohlenstoffdioxid. Das kann unter anderem Beschwerden wie Völlegefühl, Aufstoßen oder Blähungen auslösen. Die häufigste Nebenwirkung von Aluminiumhydroxid ist Verstopfung. Ein weiterer Nachteil beider Wirkstoffe ist ein Anstieg des pH-Werts im Magen. Das führt zu einer erneuten Säureproduktion, die die Beschwerden verstärken kann.

- A3** Unter Probiotika werden verschiedene Mikroorganismen zusammengefasst, die im menschlichen Verdauungstrakt erwünscht sind. Präbiotika sind Ballaststoffe, die vom Körper nicht verdaut werden, sondern den Mikroorganismen zur Verwertung dienen.

Kompetenz B

- B1** a) Wirkstoffe sind diejenigen Bestandteile eines Arzneimittels, die für seine Wirksamkeit verantwortlich sind. Hilfsstoffe sind dagegen nicht pharmakologisch wirksam. Sie dienen beispielsweise dazu, die Wirkstoffe in handhabbare Mengen zu strecken.

Hilfsstoff	Funktion
Povidon	Bindemittel
Croscarmellose-Natrium	Zerfallsmittel
Maisstärke	Bindemittel
Mikrokristalline Cellulose	Füllstoff, Grundlage
Magnesiumstearat	Schmiermittel
hochdisperses Siliciumdioxid	Fließregulierungsmittel, Gelbildner, Zerfallsmittel
Talkum	Fließmittel, Schmiermittel

- c) Schmerzmittel ohne Rücksprache mit einem Arzt höchstens zehn Tage im Monat und drei bis vier Tage in Folge anwenden, Aufklärung in der Apotheke, Packungsbeilage beachten

- B2** a) siehe **B9** auf S. 127
 Angegebenes Molekül: Acetylsalicylsäure-Molekül, Ausgangsstoffe: Salicylsäure-Molekül und Essigsäure-Molekül. Das Acetylsalicylsäure-Molekül enthält einen Sechsring, eine Carboxy-Gruppe und eine Ester-Gruppe. Carbonsäure-ester-Moleküle können durch eine Veresterung von einem Alkohol-Molekül mit einer Säure gebildet werden. Im Umkehrschluss lässt sich vom ASS-Molekül ein Acetat-Rest abspalten. Beide Bruchstücke müssen nun sinnvoll zu stabilen Molekülen vervollständigt werden. Durch die Reaktion mit Wasser-Molekülen entstehen ein Salicylsäure- und ein Essigsäure-Molekül.
- b) Mechanismus: siehe **B7** auf S. 126

- c) 1. Protonierung: Im ersten Schritt wird das Sauerstoff-Atom der Carbonyl-Gruppe des Essigsäure-Moleküls durch das Katalysator-Molekül Schwefelsäure protoniert.
2. Nucleophiler Angriff: Nach der Protonierung greift ein freies Elektronenpaar der Hydroxy-Gruppe des Salicylsäure-Moleküls nucleophil am positiv geladenen Kohlenstoff-Atom des Carbonsäure-Moleküls an.
3. Protonenumlagerung: Es folgt die Umlagerung eines Protons innerhalb des Moleküls.
4. Abspaltung eines Wasser-Moleküls: Ein Wasser-Molekül wird abgespalten.
5. Protonierung: Zum Schluss wird das Katalysator-Molekül durch eine Protonierung reaktiviert.

- b) Am Äquivalenzpunkt gilt:

$$\frac{n(\text{Ibuprofen})}{n(\text{NaOH})} = \frac{1}{1}$$

$$n(\text{Ibuprofen}) = n(\text{NaOH})$$

$$\frac{m(\text{Ibuprofen})}{M(\text{Ibuprofen})} = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})$$

$$m(\text{Ibuprofen}) =$$

$$c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) \cdot M(\text{Ibuprofen})$$

- c) Die verpackungslosen Kopfschmerztabletten sollten nicht mehr eingenommen werden, da die Packungsbeilage wichtige Informationen wie Nebenwirkungen oder Informationen zur Einnahme enthält. Außerdem steht auf der Verpackung auch das Haltbarkeitsdatum. Es könnte sein, dass das Medikament schon abgelaufen ist.

Kompetenz C

- C1 a) Der Sechsring ist unpolar, die Hydroxy-Gruppe und die Carbonsäureamid-Gruppe sind jeweils polar.
- b) Eine Möglichkeit zur Überprüfung der Reinheit einer Paracetamol-Tablette ist die Dünnschichtchromatografie. Die zu untersuchende Substanzprobe wird mit Proben von reinem 4-Aminophenol (ein Edukt zur Synthese von Paracetamol) und reinem Paracetamol verglichen. Durch die Bestimmung und den Vergleich der R_f -Werte der Paracetamol-Tablette mit denen der Referenzsubstanzen, kann man einen Rückschluss auf den Reinheitsgrad der Tablette ziehen.
- c) Die Dünnschichtchromatografie einer ASS-Tablette zeigt nach einiger Zeit einen Salicylsäure-Spot, da ASS an feuchter Luft in Essigsäure und Salicylsäure zerfällt. Das ist bei Paracetamol nicht der Fall. Das Alter einer Paracetamol-Tablette lässt sich somit nicht mithilfe der Dünnschichtchromatografie bestimmen.
- C2 a) Die Wirkstoffmenge einer Ibuprofen-Tablette lässt sich mithilfe der Säure-Base-Titration umsetzen. Die Tablette wird im Mörser zerkleinert und das Pulver in ein Becherglas gegeben. Der Inhalt des Mörsers wird zweimal mit je 10 mL Ethanol in das Becherglas gespült. Anschließend werden 3 Tropfen Phenolphthaleinlösung hinzugegeben und mit Natriumhydroxidlösung ($c = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$) bis zum Äquivalenzpunkt titriert.

Kompetenz D

- D1 Der Artikel muss folgende Informationen enthalten: Schmerzentstehung: Aus Arachidonsäure werden mithilfe der Enzyme Cyclooxygenasen (COX) Gewebshormone gebildet. Die Gewebshormone Prostacyclin und Prostaglandin E2 erhöhen beispielsweise die Empfindlichkeit von Nervenzellen, die für die Schmerz Wahrnehmung verantwortlich sind. Der Wirkstoff ASS löst sich sehr schlecht in der Magensäure ($\text{pH} = 1,0 - 1,5$). Im basischen Milieu des Dünndarms ($\text{pH} = 7,0 - 9,0$) entfaltet der Wirkstoff seine Wirkung: ASS hemmt die COX, sodass die Synthese der Gewebshormone gehemmt wird und weniger Schmerzrezeptoren aktiviert werden. Dadurch können Kopfschmerzen gelindert werden. ASS hat allerdings negative Auswirkungen auf die Leber.
- D2 Die Darreichungsform bestimmt die Lösungsgeschwindigkeit und dadurch den Wirkungseintritt und die Wirkungsdauer eines ASS-Schmerzmittels. Die Standardtablette entfaltet nach etwa 30 Minuten ihre Wirkung. Durch Oberflächenvergrößerung oder Diffusionshemmung können Wirkungseintritt und -dauer reguliert werden. Brause- und Kautablette: Oberflächenvergrößerung → der Wirkstoff wird schneller freigesetzt als bei der Standardtablette → Die Wirkung tritt schon nach 15 - 23 Minuten ein. Retardtablette: Freisetzung des Wirkstoffs wird über einen längeren Zeitraum verteilt und damit verzögert (retardiert).

Entsorgung von Gefahrstoffabfällen

Nach der Durchführung eines Versuchs liegen neben den Reaktionsprodukten häufig auch noch Reste der Edukte vor. Selbst wenn nur eine dieser Stoffe zu den Gefahrstoffen gehört, darf der Abfall nicht einfach in den Ausguss oder in die Restmülltonne gegeben werden. Diese Abfälle werden in speziell gekennzeichneten Behältern (B1) gesammelt und müssen von Entsorgungsunternehmen abgeholt werden. Aus Umwelt- und Kostengründen sollte die Entstehung unnötiger Gefahrstoffabfälle vermieden werden.



B1 Fässer zum Sammeln von Gefahrstoffabfällen

Auf den **Versuche und Material**-Seiten in diesem Buch werden bei jedem Versuch entsprechende Entsorgungshinweise in Form von Kürzeln gegeben. Die folgende Übersicht erklärt deren Bedeutung:

A: Ausguss

Ungefährliche und wasserlösliche Stoffe dürfen über den Ausguss dem kommunalen Abwassernetz zugeführt werden.

Beispiele: Zucker, Natriumchloridlösung, Blaukrautsaft, Backpulver, Lebensmittel wie Milch oder Tee



R: Restmüll bzw. Recycling

Unproblematische und ungefährliche Feststoffe werden im Restmüll entsorgt bzw. dem Recyclingsystem zugeführt.

Beispiele: Filterpapier, Indikatorpapier, Sand, Aluminiumfolie



G1: Gefäß für saure und basische Lösungen

In diesem Gefäß werden saure und basische Lösungen gesammelt. Bevor der Behälter vollständig gefüllt ist, muss der Inhalt von der Leerkraft neutralisiert werden.

Beispiele: salzsaure Lösung, Natriumhydroxidlösung



G2: Gefäß für giftige anorganische Stoffe

Gifte und umweltschädliche Chemikalien, z. B. Schwermetallsalze und deren Lösungen, werden in Gefäß 2 gesammelt, das stets basisch gehalten werden muss.

Beispiele: Kupfersulfat, Kupfersulfid, Zinksulfid, Zinkoxid



G3: Gefäß für halogenfreie organische Stoffe

In diesem Gefäß werden wasserlösliche und wasserunlösliche organische Stoffe gesammelt, die keine Halogene enthalten.

Beispiele: Brennsprit, Octan, Benzin



G4: Gefäß für halogenhaltige organische Stoffe

Organische Verbindungen, die Halogene enthalten, werden in Gefäß 4 bis zur endgültigen Entsorgung durch ein Unternehmen aufbewahrt.

Beispiele: Bromheptan, Polyvinylchlorid (PVC)



GHS – Das international gültige System zur Kennzeichnung von Gefahrstoffen

Es gibt viele verschiedene Länder auf der Welt, die alle mit Gefahrstoffen arbeiten und mit diesen untereinander Handel treiben. Um weltweit sichere Handhabung, Transport und Entsorgung zu gewährleisten, wurde das international gültige GHS-System ins Leben gerufen. Inzwischen sind die GHS-Angaben auf allen Chemikalienverpackungen Pflicht, die in den Verkauf gebracht werden, egal ob es Reinstoffe sind oder ob es sich um Stoffgemische handelt.

Eine Pflicht zur Umkennzeichnung von dem zuvor in Deutschland gültigen System existiert nicht. Es dürfen jedoch nicht beide Systeme auf ein und derselben Verpackung verwendet werden.

Die Gefahrstoffkennzeichnungen erfolgen über Piktogramme, ein Signalwort sowie über H- und P-Sätze, die über die Gefahren (Hazards) und Sicherheitsmaßnahmen (Precautions) Auskunft geben, wobei letztere ebenfalls über Piktogramme erfolgen können.

Piktogramme

	GHS 1 Instabile explosive Stoffe und Gemische Explosive Stoffe/Gemische und Erzeugnisse mit Explosionsstoff Selbstzersetzliche Stoffe und Gemische Organische Peroxide		GHS 6 Akute Toxizität (oral, dermal, inhalativ)
	GHS 2 Entzündbare Gase/Aerosole/Feststoffe Selbstzersetzliche Stoffe und Gemische Pyrophore Flüssigkeiten/Feststoffe Selbsterhitzungsfähige Stoffe und Gemische Stoffe und Gemische, die bei Berührung mit Wasser entzündbare Gase abgeben Organische Peroxide		GHS 7 Akute Toxizität (oral, dermal, inhalativ) Reizung der Haut Augenreizung Sensibilisierung der Haut Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition) Atemwegsreizung Narkotisierende Wirkungen
	GHS 3 Oxidierende Gase/Feststoffe		GHS 8 Sensibilisierung der Atemwege Keimmutagenität Krebsgenotoxizität Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition) Spezifische Zielorgan-Toxizität (wiederholte Exposition) Aspirationsgefahr
	GHS 4 Gase unter Druck: verdichtete Gase/verflüssigte Gase/ tiefgekühlt verflüssigte Gase/gelöste Gase		GHS 9 Gewässergefährdend — akut gewässergefährdend — chronisch gewässergefährdend
	GHS 5 Auf Metalle korrosiv wirkend Hautätzend Schwere Augenschädigung		

Signalwörter

Die oben angegebenen Piktogramme werden mit Signalwörtern unterstützt, die eine relative Abstufung der von dem Stoff/der Mischung ausgehenden Gefahr angeben sollen. Diese Wörter können jedoch auch ohne Piktogramm auftauchen:

Achtung warnt vor weniger schwerwiegenden Gefahrenkategorien, z. B. gesundheitsschädlich.

Gefahr warnt vor schwerwiegenden Gefahrenkategorien, z. B. giftig.

Hazard-Statements (H-Sätze, Gefahrensätze)

Die Gefahrensätze besitzen einen Code, der bereits bei den R- und S-Sätzen Verwendung fand. So sind jegliche H-Sätze mit dem Buchstaben H und einer dreistelligen Nummer versehen, wobei die erste Ziffer den Typ der Gefahr angibt. Sätze, die mit H2 beginnen, beziehen sich somit auf physikalische Gefahren (Explosionen, Feuergefahr etc.), Sätze, die mit H3 beginnen, auf gesundheitliche Gefahren (giftig, krebserregend etc.) und Sätze, die mit H4 beginnen, bezeichnen Umweltgefahren. Kombinationen der H-Sätze werden durch ein Plus-Zeichen angegeben (z. B. H312+H332).

Precautionary-Statements (P-Sätze, Sicherheitsätze)

Ähnlich wie bei den Hazard-Statements findet sich auch hier ein dreistelliger Code. Die erste Ziffer gibt dabei an, um was für einen Typ dieser Sicherheitsätze es sich handelt. Beginnend mit P1 (Allgemeines) sind generelle Angaben, beginnend mit P2 (Prävention) sind Sätze, die Vorbeugung und Vermeidung von Gefahren beschreiben. P3 (Reaktion)-Sätze beschreiben Vorgehensweisen, wie auf bestehende Gefahren zu reagieren ist (Metallbrände mit Sand löschen). P4 (Aufbewahrung)-Sätze bezeichnen Maßnahmen zur sicheren Lagerung und P5 (Entsorgung)-Sätze beschreiben Maßnahmen zur Entsorgung. Kombinationen der P-Sätze werden durch ein Plus-Zeichen angegeben (z. B. P402+P404).

Gebotszeichen



Schutzbrille



Schutzhandschuhe



Abzug



Lüftungsmaßnahmen



Brandschutzmaßnahmen

H-Sätze, P-Sätze

H200-Reihe: Physikalische Gefahren

- H200 Instabil, explosiv.
 H201 Explosiv, Gefahr der Massenerosion.
 H202 Explosiv, große Gefahr durch Splitter, Spreng- und Wurfstücke.
 H203 Explosiv, Gefahr durch Feuer, Luftdruck oder Splitter, Spreng- und Wurfstücke.
 H204 Gefahr durch Feuer oder Splitter, Spreng- und Wurfstücke.
 H205 Gefahr der Massenerosion bei Feuer.
 H206 Gefahr durch Feuer, Druckstoß oder Sprengstücke; erhöhte Explosionsgefahr, wenn das Desensibilisierungsmittel reduziert wird.
 H207 Gefahr durch Feuer oder Sprengstücke; erhöhte Explosionsgefahr, wenn das Desensibilisierungsmittel reduziert wird.
 H208 Gefahr durch Feuer; erhöhte Explosionsgefahr, wenn das Desensibilisierungsmittel reduziert wird.
 H220 Extrem entzündbares Gas.
 H221 Entzündbares Gas.
 H222 Extrem entzündbares Aerosol.
 H223 Entzündbares Aerosol.
 H224 Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar.
 H225 Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.
 H226 Flüssigkeit und Dampf entzündbar.
 H228 Entzündbarer Feststoff.
 H229 Behälter steht unter Druck: kann bei Erwärmung bersten.
 H230 Kann auch in Abwesenheit von Luft explosionsartig reagieren.
 H231 Kann auch in Abwesenheit von Luft bei erhöhtem Druck und/oder erhöhter Temperatur explosionsartig reagieren.
 H240 Erwärmung kann Explosion verursachen.
 H241 Erwärmung kann Brand oder Explosion verursachen.
 H242 Erwärmung kann Brand verursachen.
 H250 Entzündet sich in Berührung mit Luft von selbst.
 H251 Selbstentzündungsfähig; kann in Brand geraten.
 H252 In großen Mengen selbstentzündungsfähig; kann in Brand geraten.
 H260 In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase, die sich spontan entzünden können.
 H261 In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase.
 H270 Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel.

- H271 Kann Brand oder Explosion verursachen; starkes Oxidationsmittel.
 H272 Kann Brand verstärken; Oxidationsmittel.
 H280 Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren.
 H281 Enthält tiefgekühltes Gas; kann Kälteverletzungen oder -verletzungen verursachen.
 H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.

H300-Reihe: Gesundheitsgefahren

- H300 Lebensgefahr bei Verschlucken.
 H301 Giftig bei Verschlucken.
 H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
 H304 Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein.
 H310 Lebensgefahr bei Hautkontakt.
 H311 Giftig bei Hautkontakt.
 H312 Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt.
 H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
 H315 Verursacht Hautreizungen.
 H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen.
 H318 Verursacht schwere Augenschäden.
 H319 Verursacht schwere Augenreizung.
 H330 Lebensgefahr bei Einatmen.
 H331 Giftig bei Einatmen.
 H332 Gesundheitsschädlich bei Einatmen.
 H334 Kann bei Einatmen Allergien, asthmaparagische Symptome oder Atembeschwerden verursachen.
 H335 Kann die Atemwege reizen.
 H336 Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.
 H340 Kann genetische Defekte verursachen <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei einem anderen Expositionsweg besteht>.
 H341 Kann vermutlich genetische Defekte verursachen <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
 H350 Kann Krebs erzeugen <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
 H350i Kann bei Einatmen Krebs erzeugen.
 H351 Kann vermutlich Krebs erzeugen <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.

- H360 Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen <konkrete Wirkung angeben, sofern bekannt> <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass die Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.

- H360F Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
 H360D Kann das Kind im Mutterleib schädigen.
 H360FD Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen.
 H360Fd Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
 H360DF Kann das Kind im Mutterleib schädigen. Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
 H361 Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen <konkrete Wirkung angeben, sofern bekannt> <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass die Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
 H361f Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
 H361d Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
 H361fd Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
 H362 Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen.
 H370 Schädigt die Organe <oder alle betroffenen Organe nennen, sofern bekannt> <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
 H37 Kann die Organe schädigen <oder alle betroffenen Organe nennen, sofern bekannt> <Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
 H372 Schädigt die Organe <alle betroffenen Organe nennen> bei längerer oder wiederholter Exposition <Expositionsweg angeben, wenn schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.
 H373 Kann die Organe schädigen <alle betroffenen Organe nennen, sofern bekannt> bei längerer oder wiederholter Exposition <Expositionsweg angeben, wenn schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht>.

- H300+H310 Lebensgefahr bei Verschlucken oder Hautkontakt
 H300+H330 Lebensgefahr bei Verschlucken oder Einatmen
 H310+H330 Lebensgefahr bei Hautkontakt oder Einatmen
 H300+H310 Lebensgefahr bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen
 H301+H310 Giftig bei Verschlucken oder Hautkontakt
 H301+H331 Giftig bei Verschlucken oder Einatmen
 H311+H331 Giftig bei Hautkontakt oder Einatmen
 H301+H311 Giftig bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen
 H302+H312 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken oder Hautkontakt
 H302+H332 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken oder Einatmen
 H312+H332 Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt oder Einatmen
 H302+H312 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen
 +H332 Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen

H400-Reihe: Umweltgefahren

- H400 Sehr giftig für Wasserorganismen.
 H410 Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.
 H411 Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.
 H412 Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.
 H413 Kann für Wasserorganismen schädlich sein, mit langfristiger Wirkung.
 H420 Schädigt die öffentliche Gesundheit und die Umwelt durch Ozonabbau in der äußeren Atmosphäre.

P100-Reihe: Allgemeines

- P101 Ist ärztlicher Rat erforderlich, Verpackung oder Kennzeichnungsetikett bereithalten.
 P102 Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
 P103 Vor Gebrauch Kennzeichnungsetikett lesen.

P200-Reihe: Prävention

- P201 Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen.
 P202 Vor Gebrauch alle Sicherheitshinweise lesen und verstehen.
 P210 Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen und anderen Zündquellen fernhalten. Nicht rauchen.

- P211 Nicht gegen offene Flamme oder andere Zündquelle sprühen.
 P220 Von Kleidung und anderen brennbaren Materialien fernhalten.
 P221 Mischen mit brennbaren Stoffen /... unbedingt verhindern. (Gestrichen mit der 8. ATP)
 P222 Keinen Kontakt mit Luft zulassen.
 P223 Keinen Kontakt mit Wasser zulassen.
 P230 Feuchte halten mit ...
 P231 Inhalt unter inertem Gas /... handhaben und aufbewahren.
 P232 Vor Feuchtigkeit schützen.
 P233 Behälter dicht verschlossen halten.
 P234 Nur im Originalbehälter aufbewahren.
 P235 Kühl halten.
 P240 Behälter und zu befüllende Anlage erden.
 P241 Explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel / Lüftungsanlagen / Beleuchtung /... verwenden.
 P242 Nur funken freies Werkzeug verwenden.
 P243 Maßnahmen gegen elektrostatische Entladungen treffen.
 P244 Ventile und Ausrüstungsteile öl- und fettfrei halten.
 P250 Nicht schleifen / stoßen /... reiben.
 P251 Nicht durchstechen oder verbrennen, auch nicht nach Gebrauch.
 P260 Staub / Rauch / Gas / Nebel / Dampf / Aerosol nicht einatmen.
 P261 Einatmen von Staub / Rauch / Gas / Nebel / Dampf / Aerosol vermeiden.
 P262 Nicht in die Augen, auf die Haut oder auf die Kleidung gelangen lassen.
 P263 Berührung während der Schwangerschaft und der Stillzeit vermeiden.
 P264 Nach Gebrauch ... gründlich waschen.
 P270 Bei Gebrauch nicht essen, trinken oder rauchen.
 P271 Nur im Freien oder in gut belüfteten Räumen verwenden.
 P272 Kontaminierte Arbeitskleidung nicht außerhalb des Arbeitsplatzes tragen.
 P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.
 P280 Schutzhandschuhe / Schutzkleidung / Augenschutz / Gesichtsschutz tragen.
 P282 Schutzhandschuhe mit Kälteisolation und zusätzlich Gesichtsschutz oder Augenschutz tragen.
 P283 Schwer entflammare / flammhemmende Kleidung tragen.
 P284 [Bei unzureichender Belüftung] Atemschutz tragen.
 P231 + P232 Unter inertem Gas handhaben. Vor Feuchtigkeit schützen.
 P235 + P410 Kühl halten. Vor Sonnenbestrahlung schützen.

P300-Reihe: Reaktion

- P301 BEI VERSCHLUCKEN:
 P302 BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT:
 P303 BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar):
 P304 BEI EINATMEN:
 P305 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN:
 P306 BEI KONTAMINierter KLEIDUNG:
 P308 BEI EXPOSITION ODER FALLS BETROFFEN:
 P310 Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM / Arzt ... anrufen.
 P311 GIFTINFORMATIONSZENTRUM / Arzt ... anrufen.
 P312 Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM / Arzt ... anrufen.
 P313 Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
 P314 Bei Unwohlsein ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
 P315 Sofort ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
 P320 Besondere Behandlung dringend erforderlich (siehe ... auf diesem Kennzeichnungsetikett).
 P321 Besondere Behandlung (siehe ... auf diesem Kennzeichnungsetikett).
 P330 Mund ausspülen.
 P331 KEIN Erbrechen herbeiführen.
 P332 Bei Hautreizung:
 P333 Bei Hautreizung oder -ausschlag:
 P334 In kaltes Wasser tauchen / nassen Verband anlegen.
 P335 Lose Partikel von der Haut abbürsten.
 P336 Vereizte Bereiche mit lauwarmem Wasser auftragen. Betroffenen Bereich nicht reiben.
 P337 Bei anhaltender Augenreizung:
 P338 Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.
 P340 Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen.
 P342 Bei Symptomen der Atemwege:
 P351 Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen.
 P352 Mit viel Wasser /... waschen.
 P353 Haut mit Wasser abwaschen [oder duschen].
 P360 Kontaminierte Kleidung und Haut sofort mit viel Wasser abwaschen und danach Kleidung ausziehen.
 P361 Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen.
 P362 Kontaminierte Kleidung ausziehen.
 P363 Kontaminierte Kleidung vor erneutem Tragen waschen.
 P364 Und vor erneutem Tragen waschen.
 P370 Bei Brand
 P371 Bei Großbrand und großen Mengen:
 P372 Explosionsgefahr.

- P373 KEINE Brandbekämpfung, wenn das Feuer explosive Stoffe / Gemische / Erzeugnisse erreicht.
- P374 Brandbekämpfung mit üblichen Vorsichtsmaßnahmen aus angemessener Entfernung.
- P375 Wegen Explosionsgefahr Brand aus der Entfernung bekämpfen.
- P376 Undichtigkeit beseitigen, wenn gefahrlos möglich.
- P377 Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann.
- P378 ... zum Löschen verwenden.
- P380 Umgebung räumen.
- P381 Bei Undichtigkeit alle Zündquellen entfernen.
- P390 Verschüttete Mengen aufnehmen, um Materialschäden zu vermeiden.
- P391 Verschüttete Mengen aufnehmen.
- P301 + P310 BEI VERSCHLUCKEN: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM / Arzt ... anrufen.
- P301 + P312 BEI VERSCHLUCKEN: Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM / Arzt ... anrufen.
- P301 + P330 BEI VERSCHLUCKEN: Mund + P331 ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen.
- P302 + P334 BEI KONTAKT MIT DER HAUT: In kaltes Wasser tauchen / nassen Verband anlegen.
- P302 + P335 BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Lose Partikel von der Haut abbürsten. In kaltes Wasser tauchen [oder nassen Verband anlegen].
- P302 + P352 BEI KONTAKT MIT DER HAUT: Mit viel Wasser / ... waschen.
- P303 + P361 BEI KONTAKT MIT DER HAUT (oder dem Haar): Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen oder duschen.
- P304 + P312 BEI EINATMEN: Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.
- P304 + P340 BEI EINATMEN: Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen.
- P305 + P351 + P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
- 306 + P360 BEI KONTAKT MIT DER KLEIDUNG: Kontaminierte Kleidung und Haut sofort mit viel Wasser abwaschen und danach Kleidung ausziehen.
- P308 + P311 Bei Exposition oder falls betroffen: GIFTINFORMATIONSZENTRUM / Arzt ... anrufen.
- P308 + P313 Bei Exposition oder falls betroffen: Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P332 + P313 Bei Hautreizung: Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P333 + P313 Bei Hautreizung oder -auschlag: Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P335 + P334 Lose Partikel von der Haut abbürsten. In kaltes Wasser tauchen / nassen Verband anlegen.
- P336 + P315 Verseifte Bereiche mit lauwarmem Wasser auftauen. Betroffenen Bereich nicht reiben. Sofort ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P337 + P313 Bei anhaltender Augenreizung: Ärztlichen Rat einholen / ärztliche Hilfe hinzuziehen.
- P342 + P311 Bei Symptomen der Atemwege: GIFTINFORMATIONSZENTRUM / Arzt ... anrufen.
- P361 + P364 Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen und vor erneutem Tragen waschen.
- P362 + P364 Kontaminierte Kleidung ausziehen und vor erneutem Tragen waschen.
- P370 + P376 Bei Brand: Undichtigkeit beseitigen, wenn gefahrlos möglich.
- P370 + P378 Bei Brand: ... zum Löschen verwenden.
- P370 + P380 Bei Brand: Umgebung räumen.
- P370 + P380 Bei Brand: Umgebung räumen. + P375 Wegen Explosionsgefahr Brand aus der Entfernung bekämpfen.
- P370 + P372 + Bei Brand: Explosionsgefahr. Umgebung räumen. KEINE Brandbekämpfung, wenn das Feuer explosive Stoffe / Gemische / Erzeugnisse erreicht.
- P370 + P380 + Bei Brand: Umgebung räumen. + P375 Wegen Explosionsgefahr Brand aus der Entfernung bekämpfen. [... zum Löschen ... verwenden.]
- P371 + P380 + P375 Bei Großbrand und großen Mengen: Umgebung räumen. Wegen Explosionsgefahr Brand aus der Entfernung bekämpfen.
- P400-Reihe: Aufbewahrung
- P401 ... aufbewahren.
- P402 An einem trockenen Ort aufbewahren.
- P403 An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
- P404 In einem geschlossenen Behälter aufbewahren.
- P405 Unter Verschluss aufbewahren.
- P406 In korrosionsbeständiger / ... Behälter mit korrosionsbeständiger Innenauskleidung aufbewahren.
- P407 Luftspalt zwischen Stapeln / Paletten lassen.
- P410 Vor Sonnenbestrahlung schützen.
- P411 Bei Temperaturen nicht über ... °C / ... aufbewahren.
- P412 Nicht Temperaturen über 50 °C aussetzen.
- P413 Schüttgut in Mengen von mehr als ... kg bei Temperaturen nicht über ... °C aufbewahren.
- P420 Getrennt aufbewahren.
- P422 Inhalt in / unter ... aufbewahren.
- P402 + P404 In einem geschlossenen Behälter an einem trockenen Ort aufbewahren.
- P403 + P233 An einem gut belüfteten Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen halten.
- P403 + P235 An einem gut belüfteten Ort aufbewahren. Kühl halten.
- P410 + P403 Vor Sonnenbestrahlung geschützt an einem gut belüfteten Ort aufbewahren.
- P410 + P412 Vor Sonnenbestrahlung schützen. Nicht Temperaturen über 50 °C aussetzen.
- P411 + P235 Kühl und bei Temperaturen von nicht mehr als ... °C aufbewahren.
- P500-Reihe: Entsorgung
- P501 Inhalt / Behälter ... zuführen.
- P502 Informationen zur Wiederverwendung / Wiederverwertung beim Hersteller / Lieferanten erfragen.

Chemikalienliste zu den Versuchen

Aceton, s. Propan-2-on

Ammoniaklösung, s. Azanlösung

Ammoniumthiocyanat,

NH₄SCN

H318, H412, EUH032,

H302+H312+H332

P273, P280, P301+P312,

P302+P352+P312,

P304+P340+P312,

P305+P351+P338,

Amylose, **C₆H₁₀O₅**

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Antazidum-Tablette

Gefahrstoffangaben des Herstellers beachten

Antischaummittel

Ggf. gesonderte Entsorgung

Gefahrstoffangaben des Herstellers beachten

Ascorbinsäure, **C₆H₈O₆**

(kein Gefahrstoff nach GHS)

ASS-Tablette

Gefahrstoffangaben des Herstellers beachten

Azanlösung, c = 12,5 mol/L

NH₃ (aq)

H314, H335, H410

P261, P271, P273, P280,

P303+P361+P353,

P305+P351+P338

Butan-1-ol, **C₄H₉OH**

H226, H302, H315, H318,

H335, H336

P210, P280, P313, P302+P352,

P305+P351+P338

Calciumcarbonat, **CaCO₃**

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Calciumchlorid, wasserfrei,

CaCl₂

H319

P305+P351+P338

Cellobiose, **C₁₂H₂₂O₁₁**

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Cellulose, (**C₆H₁₀O₅**)_n

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Chlorwasserstofflösung,

c = 0,1 mol/L, **HCl (aq)**

H290

Chlorwasserstofflösung,

c = 1 mol/L, **HCl (aq)**

H290

Chlorwasserstofflösung,

c = 2 mol/L, **HCl (aq)**

H290

Chlorwasserstofflösung

w = 10 %, **HCl (aq)**

H290, H315, H319, H335

P260, P280, P302+P352,

P304+P340, P337+P313

Cyclohexan, **C₆H₁₂**

H225, H304, H315, H336,

H410

P210, P233, P273, P331,

P301+P310, P303+P361+P353

Cysteinilösung, **C₃H₇NO₂S (aq)**

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Eiklar

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Eisen(III)-chlorid, wasserfrei,

FeCl₃

H302, H315, H318

P280, P302+P352,

P301+P312+P330,

P305+P351+P338+P310

Eisen(III)-chloridlösung

w = 1 %, **FeCl₃ (aq)**

H290, H319

P280, P337+P313

Eisessig, s. Ethansäure

Essigsäureanhydrid,

(CH₃CO)₂O

H226, H302, H314, H331,

H335

P210, P260, P280,

P312, P303+P361+P353,

P305+P351+P338

Essigsäurelösung, s. Ethansäurelösung

Ethanol, **C₂H₅OH**

H225, H319

P210, P240, P305+P351+P338,

P403+P233

Ethansäure, **CH₃COOH**

H226, H314

P210, P280, P301+P330+P331,

P303+P361+P353,

P305+P351+P338

Ethansäurelösung,

w = 5 %, **CH₃COOH (aq)**

H290



ACHTUNG

G2



ACHTUNG

G1



GEFÄHR

G3



ACHTUNG

G2



ACHTUNG

G2



ACHTUNG

G2



ACHTUNG

G2



ACHTUNG

G2



ACHTUNG

G1



ACHTUNG

G2



ACHTUNG

G2



ACHTUNG

G3



ACHTUNG

G3



ACHTUNG

G3



ACHTUNG

G2



ACHTUNG

G2



ACHTUNG

G3



ACHTUNG

G1



ACHTUNG

G1



ACHTUNG

G1



ACHTUNG

G1



ACHTUNG

G1

FEHLUNG-II-Lösung, s. Kaliumnatriumtartratlösung

FEHLUNG-I-Lösung, s. Kupfer(II)-sulfatlösung,
w = 17,29 %

Fructose, $C_6H_{12}O_6$

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Galactose, $C_6H_{12}O_6$

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Glucose, $C_6H_{12}O_6$

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Glycylinlösung, NH_2CH_2COOH (aq)

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Gummibärchen

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Harnstofflösung, w = 2 %, NH_2CONH_2 (aq)

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Heptan, n-, C_7H_{16}

H225, H304, H315, H336,

H410

P210, P240, P273,

P301+P330+P331,

P302+P352, P403+P233

Hydrotalcit, $Mg_6Al_2(OH)_{16}CO_3 \cdot 4 H_2O$

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Iod-Kaliumiodidlösung

H373

P260, P314

Kaliumchlorat, $KClO_3$

H271, H302, H332, H411

P210, P221, P273

Kaliumiodat, KIO_3

H272, H302, H319

Kaliumiodid, KI

H372

P314

Kaliumnatriumtartratlösung

H290, H314

P280, P308+P310,

P303+P361+P353,

P305+P351+P338

Karotte

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Kupfer(II)-sulfatlösung,

w = 17,29 %, $CuSO_4$ (aq)

H318, H411

P273, P305+P351+P338

Lactase-Tablette

Gefahrstoffangaben des Herstellers beachten

Lactose, $C_{12}H_{22}O_{11}$

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Leucinlösung, $C_6H_{13}NO_2$ (aq)

(kein Gefahrstoff nach GHS)

magensaftresistente Tablette

Gefahrstoffangaben des Herstellers beachten

Magnesiumcarbonat, $MgCO_3$

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Maltose, $C_{12}H_{22}O_{11}$

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Medikament gegen Blähungen

Gefahrstoffangaben des Herstellers beachten

Methioninlösung, $C_5H_{11}NO_2S$

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Milchsäure,

$CH_3CH(OH)COOH$

H314, EUH071

P280, P310, P301+P330+P331,

P303+P361+P353,

P305+P351+P338

Milchsäurelösung, w = 20 %, $CH_3CH(OH)COOH$ (aq)

H315, H318

P280, P305+P351+P338

Natriumalginat

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Natriumhydrogencarbonat, $NaHCO_3$

(kein Gefahrstoff nach GHS)

Natriumhydroxidlösung,

c = 0,1 mol/L, $NaOH$ (aq)

H290

Natriumhydroxidlösung,

w = 10 %, $NaOH$ (aq)

H290, H314

P280, P308+P310,

P303+P361+P353,

P305+P351+P338

Ninhydrinlösung, w = 0,5 %

in Ethanol

H225, H319

P210, P240, P403+P233,

P305+P351+P338



N-Methylharnstoff, w = 2 %, $C_2H_6N_2O$
(kein Gefahrstoff nach GHS)



Orangensaft

(kein Gefahrstoff nach GHS)



Phenolphthaleinlösung, w < 1 %
in Ethanol



H225, H319

P201, P210, P305+P351+P338

Propan-2-on, CH_3COCH_3
H225, H319, H336, EUH066



P210, P240, P403+P233,

P305+P351+P338

Rindergallenlösung

(kein Gefahrstoff nach GHS)



Saccharose, $C_{12}H_{22}O_{11}$

(kein Gefahrstoff nach GHS)



Salami

(kein Gefahrstoff nach GHS)



Salicylsäure, $OH-C_6H_4-COOH$



H302, H318, H361d

P280, P310, P301+P330+P331,

P305+P351+P338

salzsaure Lösung, s. Chlorwasserstofflösung

Schinken

(kein Gefahrstoff nach GHS)



Schwefelsäure, konzentriert,

Dihydrogensulfat, w = 96 %

H_2SO_4



Anorganische Säuren
und deren Anhydride
ggf. zunächst verdünnen
(vorsichtig in Eiswasser
einrühren, pH 6-8),
dann G1

H290, H314

P280, P301+P330+P331,

P303+P361+P353,

P305+P351+P338+P310



Schwefelsäurelösung,

c = 3 mol/L, H_2SO_4 (aq)



H290, H314

P280, P308+P310,

P301+P330+P331,

P305+P351+P338

Seifenlösung

(kein Gefahrstoff nach GHS)



SELIWANOW-Reagenz,

H290, H315, H319, H335



P261, P280, P312, P304+P340,

P305+P351+P338

Silber(I)-nitratlösung,

c = 0,1 mol/L, $AgNO_3$ (aq)

H315, H319, H410

P280, P273, P302+P352,

P305+P351+P338, P332+P313,

P337+P313



Speiseöl

(kein Gefahrstoff nach GHS)



Spülmittel

(kein Gefahrstoff nach GHS)



Stärkelösung, w = 1 %, $(C_6H_{10}O_5)_n$ (aq)

(kein Gefahrstoff nach GHS)



Universalindikatorlösung 113

H225

P210, P233



Urease

H315, H319, H334, H335

P302+P351, P305+P351+P338



vegane Wurstwaren

(kein Gefahrstoff nach GHS)



Wasser, destilliert

(kein Gefahrstoff nach GHS)



Zinn(II)-chlorid, $SnCl_2$

H290, H314, H317, H335,

H373, H412, H302+H332

P260, P273, P280,

P303+P361+P353,

P304+P340+P312,

P305+P351+P338+P310



Zitrone

(kein Gefahrstoff nach GHS)



Die Daten sind überwiegend den Angaben namhafter Chemikalienanbieter entnommen. Daten für Stoffgemische, zu denen keine offiziellen Datenblätter vorlagen, wurden mit dem GHSChem-Gemischrechner der BG RCI – Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie bestimmt. Grundsätzlich sind die P-Sätze der Kategorien „dringend empfohlen“ und „empfohlen“ angegeben. Bei einigen Stoffen waren keine P-Sätze verfügbar. Sollten Herstellerangaben vorliegen, sind diese vorzuziehen.

Haftungshinweis: Die Chemikalienliste wurde sorgfältig geprüft. Da sich Verordnungen zur Kennzeichnung ändern und Fehler nie ganz ausgeschlossen werden können, übernehmen der Verlag und die Autorinnen und Autoren keine Haftung für Folgen veralteter oder fehlerhafter Einträge.

Glossar

A

Adenosintriphosphat (ATP): Das energiereiche Nukleotid ATP (Adenosintriphosphat) dient in Zellen als mobiler (d.h. es kann transportiert werden) und universeller (d.h. es kommt in allen Zellen lebender Organismen vor) Energieträger.

Adsorption: Als Adsorption bezeichnet man die Anlagerung der Atome oder Moleküle von Flüssigkeiten oder Gasen an eine feste Oberfläche.

Aktives Zentrum: Das aktive Zentrum ist eine „Tasche“, die bei der dreidimensionalen Faltung von Proteinen entsteht (Tertiärstruktur). An dieser Stelle des Enzyms lagert sich nach dem „Schlüssel-Schloss-Prinzip“ das Substrat an und wird katalytisch umgesetzt. Dort vorkommende Aminosäuren führen hier die katalytische Reaktion aus.

Allosterische Hemmung: Bindet ein Hemmstoff an das allosterische Zentrum eines Enzyms, verändert sich die Form des aktiven Zentrums. Durch diese allosterische Hemmung können Substrate nicht mehr gebunden werden.

Allosterisches Zentrum: Manche Enzyme haben außer dem aktiven Zentrum eine weitere Bindestelle für Substrate, das allosterische Zentrum.

Ammoniumcer(IV)-nitrat: Ammoniumcer(IV)-nitrat ist ein Nachweisreagenz für die Hydroxy-Gruppe.

Amylopektin: Amylopektin ist ein Bestandteil der natürlichen, pflanzlichen Stärke. Der Anteil von Amylopektin beträgt ca. 70 – 80%. Amylopektin-Moleküle bestehen aus einem Grundgerüst aus α -D-Glucopyranose-Bausteinen. Zusätzlich sind weitere α -D-Glucopyranose-Bausteine 1,6-glykosidisch verknüpft. Dadurch bilden sich neben der Hauptkette weitere Seitenketten aus Glucose-Bausteinen in dem Molekül. Insgesamt enthält ein Amylopektin-Molekül ca. 1.200 bis 6.200 Glucose-Bausteine.

Amylose: Amylose ist ein Bestandteil der natürlichen, pflanzlichen Stärke. Ihr Anteil beträgt ca. 20 – 30%. Die Moleküle der Amylose bestehen aus ca. 100 bis 1.400 α -D-Glucopyranose-Bausteinen, die jeweils 1,4-glykosidisch miteinander verknüpft sind.

Analgetikum: Analgetikum ist eine andere Bezeichnung für Schmerzmittel.

Anomere: In der HAWORTH-Projektion (Ringform) von Kohlenhydrat-Molekülen kann die Hydroxy-Gruppe am C1-Atom entweder oben oder unten stehen. Dadurch entstehen mögliche Isomere, die Anomere.

Anomeren-Gleichgewicht: Das Gleichgewicht, bei dem Anomere in einem bestimmten Verhältnis zueinander vorliegen, nennt man Anomeren-Gleichgewicht.

Anomeres Zentrum: In der HAWORTH-Projektion (Ringform) von Kohlenhydrat-Molekülen kann die Hydroxy-Gruppe am C1-Atom entweder oben oder unten stehen. Das Kohlenstoff-Atom ist demnach chiral. Man nennt es anomeres Zentrum. Die Konfiguration am anomeren Zentrum wird durch α und β beschrieben.

Antazidum: Ein Antazidum ist ein basischer Stoff, der nach Einnahme die salzsäure Lösung im Magen neutralisiert.

Asymmetrisches Kohlenstoff-Atom: Diese Chiralitätszentrum

B

Ballaststoffe: Ballaststoffe sind unverdauliche Bestandteile der Nahrung. Meist handelt es sich um Faserstoffe (bestimmte Kohlenhydrate) von pflanzlichen Lebensmitteln, wie z.B. Produkten aus Vollkorngetreide, Hülsenfrüchten, Obst, Gemüse und Nüssen. Ballaststoffe dienen dem Darmmikrobiom als Nahrung.

Bauchspeicheldrüsensaft (Pankreassaft): Der Bauchspeicheldrüsensaft neutralisiert die Magensäure und enthält zudem verschiedene Verdauungsenzyme zur weiteren Spaltung von Protein-, Kohlenhydrat- und Fett-Molekülen.

Belegzellen (Parietalzellen): In den Belegzellen des Magens wird eine salzsäure Lösung, die Magensäure, gebildet.

Biot-Gesetz: Mit dem Biot-Gesetz lässt sich der spezifische Drehwinkel $[\alpha]$ bei einer bestimmten Temperatur t und einer bestimmten Lichtwellenlänge λ bestimmen: $[\alpha]_t^\lambda = \frac{\alpha}{l \cdot c}$ mit α = Drehwinkel, c = Konzentration des gelösten Stoffes und l = Länge des Probenrohrs.

Bodymassindex (BMI): Der Bodymassindex (BMI) wird benutzt, um das Körpergewicht eines Menschen einzuordnen. Der BMI errechnet sich aus der Körpergröße im Verhältnis zum Körpergewicht: $\text{BMI} = \frac{\text{Körpergewicht in kg}}{(\text{Körpergröße in m})^2}$

C

Carbonsäureamid: Die Carbonsäureamide bilden eine Verbindungsklasse, deren Moleküle eine funktionelle Amid-Gruppe enthalten. Die Moleküle enthalten eine Carbonyl-Gruppe an deren Kohlenstoff-Atom ein Stickstoff-Atom gebunden ist. Die Kohlenstoff- und Stickstoff-Atome können unterschiedlich substituiert sein.

Carbonsäureester: Die Carbonsäureester bilden eine Verbindungsklasse, deren Moleküle eine funktionelle Ester-Gruppe (-C-COO-) enthalten.

Carrierproteine: Carrierproteine sind Proteine, die ähnlich wie Enzyme nur mit ganz bestimmten Molekülen wechselwirken und diese aktiv oder passiv ins Zellinnere überführen.

Cellobiose: Cellobiose ist ein natürlich vorkommendes Disaccharid. Das Molekül ist aus β -1,4-glykosidisch verknüpften Glucopyranose-Molekülen aufgebaut.

Cellulose: Cellulose ist Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände und somit das mit Abstand häufigste natürlich vorkommende Kohlenhydrat. In einem Cellulose-Molekül sind β -D-Glucopyranose-Bausteine 1,4-glykosidisch verknüpft.

Chiralität: Zwei Moleküle, die sich wie ein Objekt und sein Spiegelbild zueinander verhalten, sind chiral. Chirale Moleküle haben gleiche Konstitution, aber unterschiedliche Konfiguration. Chiralität ist die Voraussetzung für Spiegelbildisomerie.

Chiralitätszentrum: Das Chiralitätszentrum oder asymmetrische Kohlenstoff-Atom ist ein Kohlenstoff-Atom, an das vier unterschiedliche Substituenten („Reste“) gebunden sind.

Chlorid-Hydrogencarbonat-Austauscher: Der Chlorid-Hydrogencarbonat-Austauscher ist ein Protein, durch das die einfach negativ geladenen Hydrogencarbonat- und Chlorid-Anionen paarweise entgegengesetzt bewegt werden können.

Chromatografie: Die Chromatografie ist ein Trennverfahren, bei dem ein Stoffgemisch durch unterschiedliche Verteilung seiner Einzelbestandteile zwischen einer stationären und einer mobilen Phase aufgetrennt wird.

Chromatogramm: Die grafische Darstellung der Messungen in der Chromatografie nennt man Chromatogramm. Bei der Dünnschichtchromatografie ist beispielsweise die DC-Platte das Chromatogramm.

Cyclooxygenasen (COX): Die Cyclooxygenasen sind Enzyme, die die Umsetzung von Arachidonsäure zu weiteren Gewebshormonen katalysieren.

D

Darmflora: siehe Darmmikrobiom

Darmmikrobiom (Darmflora): Der Begriff Darmmikrobiom umfasst die Gesamtheit der Mikroorganismen im Darm.

Denaturierung: Die Denaturierung bezeichnet eine strukturelle Veränderung von beispielsweise Proteinen. Diese wird durch physikalische (Hitze, Strahlung) oder chemische (saure und basische Lösungen, Ethanol, Schwermetalle) Einflüsse ausgelöst. Die Denaturierung geht meistens mit einem Funktionsverlust der Moleküle einher.

D-Form bzw. D-Konfiguration: Die D-Form bzw. D-Konfiguration ist eine Zuordnung von chiralen Molekülen in der FISCHER-Projektion: Steht die Hydroxy-Gruppe am untersten asymmetrischen Kohlenstoff-Atom rechts, handelt es sich um die D-Form (lat. dexter: rechts).

Diastereomere: Diastereomere sind chemische Verbindungen mit gleicher Molekülformel und gleicher Verknüpfung der Atome, die Atome sind aber räumlich unterschiedlich angeordnet. Diastereomere verhalten sich nicht wie Bild und Spiegelbild zueinander.

Diffusion: Diffusion ist der Vorgang, bei dem sich Teilchen aufgrund der Eigenbewegung ausbreiten bzw. gleichmäßig verteilen. In Flüssigkeiten oder Gasen führt die Diffusion mit der Zeit zum Ausgleich von Konzentrationsunterschieden, d.h. zur vollständigen Durchmischung der beteiligten Stoffe.

Dinitrophenylhydrazin: Dinitrophenylhydrazin dient als Nachweisreagenz für die Carbonyl-Gruppe.

Disaccharide: Disaccharide (= Zweifachzucker) zählen zur Makronährstoffgruppe der Kohlenhydrate. Disaccharid-Moleküle bestehen aus zwei miteinander verknüpften Monosaccharid-Molekülen. Zu den Disacchariden gehören z.B. Saccharose (= Haushaltszucker), Maltose (= Maltzucker) und Lactose (= Milchzucker).

Dreidimensionale Lebensmittelpyramide: Die dreidimensionale Lebensmittelpyramide veranschaulicht die Prinzipien einer vollwertigen und ausgewogenen Ernährung. Die Grundfläche der Pyramide zeigt den Ernährungskreis. Die vier Seitenflächen der Pyramide zeigen Beispiele aus den Gruppen Öle und Fette, pflanzliche Lebensmittel, Getränke und tierische Lebensmittel. Dabei sind die Beispiele so angeordnet, dass die Lebensmittel an der Basis der Pyramide besonders empfehlenswert und die an der Spitze weniger empfehlenswert sind.

Dünnschichtchromatografie (DC): Die Dünnschichtchromatografie ist ein physikalisch-chemisches Trennverfahren zur Untersuchung der Reinheit einer Probe oder zur Überprüfung der Identität mithilfe einer Referenzsubstanz. Als mobile Phase wird ein Lösungsmittel verwendet, welches durch Kapillarkräfte in der stationären, porösen Phase hochsteigt. Da die Substanzen auf der Dünnschichtfolie laufen, heißt das verwendete Lösungsmittel, welches für diesen Umstand verantwortlich ist, Fließmittel.

E

Emulgator: Emulgatoren sind Lebensmittelzusatzstoffe, die dabei helfen, zwei nicht miteinander mischbare Flüssigkeiten zu einem fein verteilten Gemisch zu vermengen. Hierfür haben ihre Moleküle ein polares und ein unpolares Ende.

Enantiomere: Enantiomere sind Stereoisomere chemischer Verbindungen, die die gleiche Molekülformel besitzen und deren Atome in gleicher Weise miteinander verknüpft sind. Zwei Enantiomere sind spiegelbildlich zueinander.

Energiebilanz: Die Menge an Energie, die der Mensch pro Tag benötigt, kann in einer Energiebilanz ermittelt werden. Dabei werden der Energieverbrauch des

Körpers und die Energieaufnahme über die Nahrung pro Tag betrachtet.

Energiedichte: Die Energiedichte bezeichnet die Energie eines Nährstoffs oder Lebensmittels bezogen auf eine bestimmte Masse.

Entschäumer: Entschäumer sorgen für eine Zerstörung von Schaum, indem sie dessen Oberflächenspannung herabsetzen. Sie werden unter anderem eingesetzt, um die Schaumbildung im Darm zu unterbinden.

Enzymatische Hydrolyse: Viele Makromoleküle im Körper werden durch eine Reaktion mit Wasser-Molekülen gespalten. Wird eine solche Hydrolyse von Enzymen katalysiert, spricht man von einer enzymatischen Hydrolyse.

Enzym: Bei einem Enzym handelt es sich um einen Biokatalysator, der bei einem bestimmten Stoffwechselprozess die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht, indem er die Aktivierungsenergie einer Reaktion senkt. Enzyme gehen unverändert aus der Reaktion hervor. Die meisten Enzyme sind Proteine.

Ernährungskreis: Der Ernährungskreis zeigt die Zusammensetzung einer vollwertigen Ernährung. Er ist in 7 unterschiedlich große Lebensmittelgruppen aufgeteilt. Die Segmentgröße jeder Gruppe gibt den Anteil an einer ausgewogenen Ernährung wieder.

Essenzieller Nahrungsbestandteil: Ein essenzieller Nahrungsbestandteil ist ein lebenswichtiger Nahrungsbestandteil, der vom Körper nicht selbst hergestellt werden kann. Dazu zählen Mineralsalze, viele Vitamine und Aminosäuren sowie ungesättigte Fettsäuren.

F

FEHLUNG-Probe: Aldehyde können mit der FEHLUNG-Probe nachgewiesen werden. Dabei reagiert der Aldehyd in basischer Lösung beim Erwärmen in einer Redoxreaktion mit Kupfer(II)-sulfat zu einer Carbonsäure. Bei der Reaktion entsteht ziegelrotes Kupfer(I)-oxid.

Fette: Fette dienen als Energielieferant und Baustoff. Sie setzen sich aus Fett-Molekülen zusammen. Jedes Fett-Molekül ist aus drei Fettsäure-Resten aufgebaut, die an ein Glycerin-Molekül gebunden sind.

Fettsäure: Fettsäure-Moleküle bestehen aus langketigen Kohlenwasserstoffen, an deren Ende sich eine Carboxy-Gruppe befindet. Man unterscheidet zwischen gesättigten Fettsäure-Molekülen, bei denen nur Einfachbindungen zwischen den Kohlenstoff-Atomen der Kette vorkommen, und ungesättigten Fettsäure-Molekülen mit mindestens einer Doppelbindung zwischen den Kohlenstoff-Atomen der Kette.

FISCHER-Projektion: Die FISCHER-Projektion ist eine eindeutige Darstellung dreidimensionaler Molekül-Konfigurationen in der zweidimensionalen Ebene. Sie eignet sich gut für die Darstellung von Monosaccharid-Molekülen in der Kettenform und für Aminocarbonsäure-Moleküle.

Fließmittel (mobile Phase): Das Fließmittel stellt die mobile Phase bei der Dünnschichtchromatografie dar. Es handelt sich um eine mit der stationären Phase nicht mischbare Flüssigkeit. Häufig verwendet man dafür ein Gemisch verschiedener Lösemittel. Bei einer DC fließt das Fließmittel aufgrund der Kapillarkraft von unten nach oben.

Freie Zucker: Freie Zucker umfassen gemäß WHO Monosaccharide (Glucose, Fructose, Galactose) und Disaccharide (Saccharose, Lactose, Maltose, Trehalose), die Hersteller oder Verbraucher Lebensmitteln zusetzen oder die in Honig, Sirup, Fruchtsaft und Fruchtsaftkonzentrat natürlich vorkommen.

Fructose: Fructose (Fruchtzucker) ist ein Monosaccharid und gehört somit zur Stoffklasse der Kohlenhydrate. Ein Fructose-Molekül enthält mehrere Hydroxy-Gruppen und eine Keto-Gruppe.

Fructose-Malabsorption: Bei der Fructose-Malabsorption liegt eine eingeschränkte Transportkapazität eines Transportproteins der Dünndarmzellen vor. Fructose kann daher nicht vollständig von den Dünndarmzellen resorbiert werden und gelangt zum Teil in den Dickdarm. Dort wirkt Fructose wasserziehend, was unangenehme Nebenwirkungen auslöst.

Furanose-Form: Entsteht beim Ringschluss eines Monosaccharid-Moleküls ein Fünfring, liegt das Molekül in der Furanose-Form vor, da der Ring dem Furan-Molekül ähnelt.

G

Galle: Die Galle wird in der Leber produziert und ist wichtig für die Fettverdauung. Sie hilft, die Fette mit Wasser zu vermischen.

Gallensalze: Gallensalze sind die Salze der Gallensäuren. Sie gehören zu den natürlichen Tensiden.

Gehärtete Fette: Gehärtete Fette sind fette Öle, deren ungesättigten Fettsäure-Moleküle durch die Addition von Wasserstoff-Atomen an die Doppelbindungen in gesättigte Fettsäure-Moleküle umgewandelt werden. Dabei werden die fetten Öle fest.

gesättigt: Gesättigte Fettsäure-Moleküle haben nur Einfachbindungen zwischen den Kohlenstoff-Atomen der Fettsäure-Reste.

Gewebshormone: Als Gewebshormone werden am bzw. nahe dem Wirkungsort gebildete, hormonell aktive Substanzen bezeichnet.

Globaler Hektar: Der globale Hektar ist die Maßeinheit für den ökologischen Fußabdruck. Ein globaler Hektar entspricht dabei einem Hektar weltweit durchschnittlicher Bioproduktivität (1 globaler Hektar = 10.000 m²).

Glucose: Die Glucose (Traubenzucker) ist ein Monosaccharid und gehört somit zur Stoffklasse der Kohlenhydrate. Ein Glucose-Molekül enthält mehrere Hydroxy-Gruppen sowie eine Aldehyd-Gruppe.

Glykogen: Das Reservekohlenhydrat Glykogen wird in der Leber und der Skelettmuskulatur gespeichert. Glykogen ist ein verzweigtes Polysaccharid, dessen Moleküle aus bis zu 50.000 miteinander verknüpften Glucose-Molekülen bestehen.

Glykosidische Bindung: Die glykosidische Bindung bezeichnet die Verknüpfungseinheit zwischen Monosaccharid-Bausteinen, die durch Abspaltung eines Wasser-Moleküls zwischen zwei Hydroxy-Gruppen verschiedener Monosaccharid-Moleküle zustande kommt.

Glucose-Oxidase-Test (GOD-Test): Der Glucose-Oxidase-Test ist eine enzymatische Nachweismethode zur Bestimmung von Glucose.

H

H⁺/K⁺-ATPase: siehe Protonen-Kalium-Pumpe

Halbquantitative Analyse: Kann mit einem Testverfahren nicht die genaue, sondern nur die ungefähre Konzentration eines Stoffes bestimmt werden, spricht man von einer halbquantitativen Analyse.

HAWORTH-Projektion: Die HAWORTH-Projektion ist eine eindeutige Darstellung dreidimensionaler Molekül-Konfigurationen in der zweidimensionalen Ebene. Sie eignet sich gut für die Darstellung von Ringen in Zucker-Molekülen.

Hemmstoff: Ein Hemmstoff schränkt chemische Vorgänge ein oder verhindert diese.

Hilfsstoff: Hilfsstoffe sind inaktive Bestandteile eines Medikaments, die nicht mit den zellulären Strukturen des Körpers wechselwirken. Sie haben vielerlei andere Funktionen, z.B. als Füllstoff, Lösemittel oder Zerfallsbeschleuniger.

I

Iodometrie: Bei der Iodometrie handelt es sich um eine Redoxtitration zur quantitativen Bestimmung von oxidierenden Substanzen für die kein geeigneter Indikator zur Verfügung steht. Zur Durchführung tropft man Iodmahlösung zu einer Probeflösung. Die Moleküle der Probeflösung werden oxidiert und die Iod-Moleküle reduziert. Sind keine oxidierbaren Moleküle mehr in der Probeflösung vorhanden, bleiben die Iod-Moleküle als solche bestehen. Als Indikator zugesetzte Stärkelösung färbt sich dann blau.

K

Kilojoule: Die international gebräuchliche Einheit für Energie ist Joule (J) bzw. Kilojoule (kJ).

Kohlenhydrate: Kohlenhydrate sind die Hauptenergielieferanten in der Nahrung und zählen daher zu den Makronährstoffen. Es handelt sich um organische Verbindungen aus Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoff-Atomen, die meist mit der allgemeinen Molekülformel C_nH_{2n}O_n beschrieben werden können.

Kompetitive Hemmung: Bei einer kompetitiven Hemmung bindet ein Hemmstoff reversibel an das aktive Zentrum eines Enzyms, sodass das Substrat dort nicht mehr binden kann. Das Substrat und der Hemmstoff konkurrieren um das aktive Zentrum. Durch eine Erhöhung der Substratkonzentration lässt sich der Hemmstoff wieder von dem Enzym verdrängen.

Kondensationsreaktion: Bei einer Kondensationsreaktion verbinden sich zwei Moleküle unter Abspaltung eines kleinen Moleküls zu einem größeren Molekül. Bei dem abgespaltenen Molekül handelt es sich häufig um ein Wasser-Molekül.

Konstitutionsisomere: Konstitutionsisomere sind Moleküle, die die gleiche Molekülformel, aber eine andere Verknüpfung der Atome besitzen. Die Isomere haben unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften.

Körperliche Abhängigkeit: Die körperliche Abhängigkeit beschreibt die Sucht nach bestimmten Substanzen, wie z. B. Medikamenten, Nikotin oder Alkohol. Um diese festzustellen, müssen laut Weltgesundheitsorganisation WHO bestimmte Kriterien erfüllt sein. Dazu gehören unter anderem ein starkes Verlangen, die Substanz zu konsumieren oder der anhaltende Konsum trotz bereits eingetretener physischer und psychischer Schäden. Relevant für eine Diagnose ist vor allem auch die Frage, welchen Stellenwert und welche Bedeutung das Suchtmittel für den Betroffenen hat und inwiefern es sich auf sein Denken, Fühlen und Handeln auswirkt.

L

Lactose: Lactose (= Milchzucker) ist ein Disaccharid. In einem Lactose-Molekül sind ein β -D-Glucopyranose- und ein β -D-Galactopyranose-Baustein miteinander verknüpft.

Lactose-Unverträglichkeit: Menschen, die Lactose im Körper nicht abbauen können, da ihnen das dafür notwendige Enzym Lactase fehlt, leiden unter einer Lactose-Unverträglichkeit.

Latenzzeit: Den Zeitraum zwischen dem Beginn einer medikamentösen Therapie und ihrem Wirkeintritt bezeichnet man als Latenzzeit.

L-Form bzw. L-Konfiguration: Die L-Form bzw. L-Konfiguration ist eine Zuordnung von chiralen Molekülen in der FISCHER-Projektion: Steht die Hydroxy-Gruppe am untersten asymmetrischen Kohlenstoff-Atom links, handelt es sich um die L-Form (lat. laevus: links).

Linear polarisiertes Licht: Linear polarisiertes Licht ist Licht, welches ausschließlich Strahlen gleicher Schwingungsrichtung enthält. Sonnenlicht ist unpolarisiert. Das bedeutet, es schwingt in beliebig viele Richtungen, aber immer senkrecht zum Strahl. Wenn das Licht stattdessen nur in einer Ebene schwingt, dann nennt man es linear polarisiert.

M

Magengeschwür: Ein Magengeschwür ist eine Wunde in der Magenwand.

Magensaft: Der Magensaft enthält unter anderem Wasser, salzsaure Lösung und verschiedene Enzyme, die für die Verdauung notwendig sind. Er wird in der Magenschleimhaut gebildet.

Magensäure: Die Magensäure ist eine salzsaure Lösung, die im Magen zur Verdauung und zum Abtöten von schädlichen Mikroorganismen notwendig ist.

Makronährstoffe: Unter dem Begriff Makronährstoffe werden Kohlenhydrate, Proteine und Fette zusammengefasst. Sie werden (täglich) in großer Menge aufgenommen.

Maltose: Maltose (= Malzzucker) ist ein Disaccharid. Maltose-Moleküle bestehen aus zwei miteinander verbundenen α -D-Glucopyranose-Molekülen.

Massenanteil w: Der Massenanteil w gibt die Masse eines Stoffes im Verhältnis zur Gesamtmasse des Stoffgemisches an: $w = \frac{m(x)}{m(\text{Stoffgemisch})}$

Medikamentenmissbrauch: Wird ein Medikament außerhalb des Anwendungsgebiets, über die verschriebene Dosis oder Zeit hinaus verwendet, handelt es sich um Medikamentenmissbrauch.

Micellen: Micellen sind Zusammenschlüsse (Aggregate) von amphiphilen Molekülen oder grenzflächenaktiven Substanzen. Negativ geladene, polare Bereiche zeigen dabei in Richtung der polaren Lösemittel-Moleküle, während

die unpolare Bereiche in Richtung der unpolaren Lösemittel-Moleküle zeigen.

Mikronährstoffe: Unter dem Begriff Mikronährstoffe werden Vitamine und Mineralsalze zusammengefasst. Sie werden (täglich) in geringer Menge aufgenommen.

Mineralsalze: Bei den Mineralsalzen handelt es sich um Bau- und Wirkstoffe, die vom Körper in Ionenform aufgenommen werden. Man unterscheidet Mengenelemente, die im Körper in relativ großen Mengen vorhanden sind (mehr als 50 mg pro kg Körpermasse) und Spurenelemente, die nur in geringeren Mengen („Spuren“) vorkommen.

Mobile Phase: siehe Fließmittel

Monosaccharide: Monosaccharide bestehen aus einzelnen Zucker-Molekülen und zählen zur Makronährstoffgruppe der Kohlenhydrate. Zu den Monosacchariden gehören z. B. Glucose (= Traubenzucker) und Fructose (= Fruchtzucker).

N

Nachhaltigkeit: Unter Nachhaltigkeit versteht man das Prinzip, dass nur so viel an Ressourcen verbraucht werden darf, wie in absehbarer Zukunft durch Nachwachsen oder Regeneration wieder zur Verfügung gestellt werden kann.

Neutralisation: Reagieren gleiche Stoffmengen Oxonium-Ionen und Hydroxid-Ionen in wässriger Lösung miteinander zu Wasser-Molekülen, spricht man von einer Neutralisationsreaktion. Es entstehen Lösungen von Salzen. Neutralisationsreaktionen sind exotherm.

Nicht-reduzierendes Disaccharid: Bei Molekülen der nicht-reduzierenden Disaccharide sind die beiden anomeren Kohlenstoff-Atome miteinander verknüpft, wodurch keiner der beiden Monosaccharid-Bausteine in die offene Kettenform übergehen kann und oxidiert zu werden und reduzierend zu wirken.

O

Ökologischer Fußabdruck: Der ökologische Fußabdruck ist ein Nachhaltigkeitsindikator, der beschreibt, wie viel Fläche ein Mensch benötigt, um seinen Bedarf an Ressourcen z. B. an Nahrung

oder Rohstoffen, zu decken. Dabei spielt vor allem die Nahrung eine immer größere Rolle und mit dieser auch Anbauflächen, Wasserverbrauch und Transportwege.

Optische Aktivität: Die optische Aktivität bezeichnet die Drehung der Ebene des polarisierten Lichts. Es handelt sich um eine Eigenschaft von Stoffen, deren Moleküle chiral sind.

P

Pankreassaft: siehe Bauchspeicheldrüsensaft

Parietalzellen: siehe Belegzellen

Peptidbindung: Die Peptidbindung ($-NH-CO-$) ist die charakteristische funktionelle Gruppe von Peptid-Molekülen und Protein-Molekülen. Sie entsteht z.B. durch die Kondensationsreaktion der Carboxy-Gruppe eines Amino-carbonsäure-Moleküls mit der Aminogruppe eines zweiten Amino-carbonsäure-Moleküls unter Abspaltung eines Wasser-Moleküls.

Pharmakodynamik: Das pharmazeutische Teilgebiet der Pharmakodynamik beschäftigt sich mit der Wirkung von Arzneimitteln auf ein Lebewesen.

Pharmakokinetik: Die Pharmakokinetik ist ein Teilgebiet der Pharmakologie und beschreibt, was der Körper mit eingenommenen Arzneimitteln macht. Dabei werden Aufnahme, Verteilung, Metabolismus und Ausscheidung des Arzneistoffes betrachtet.

Pharmakologische Wirkung: Stoffe, die mit den zellulären Strukturen des Körpers wechselwirken, haben eine pharmakologische Wirkung.

pH-Wert: Der pH-Wert ist ein Maß für die Konzentration an Oxonium-Ionen ($c(H_3O^+)$) in einer wässrigen Lösung. Er ist definiert als der negative dekadische Logarithmus der Oxonium-Ionen-Konzentration: $pH = -\lg_{10} c(H_3O^+)$.

Plasma-Lipoprotein-Partikel: Micellen von Fetten nennt man Plasma-Lipoprotein-Partikel. Sie enthalten als Hülle amphiphile Phospholipide und Cholesterinester. Dabei sind die polaren Bereiche der Moleküle beider Stoffgruppen nach außen gerichtet und die unpolaren Bereiche nach innen. So können im Inneren der Micellen unpolare Moleküle gelagert und über die wässrigen

Körperflüssigkeiten Lymphe und Blut zu den Zielzellen transportiert und dort gespeichert werden.

pOH-Wert: Der pOH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus aus dem Betrag der Konzentration der Hydroxid-Ionen einer Lösung: $pOH = -\lg c(OH^-)$. Es gilt: $pH + pOH = 14$.

Polarimeter: Das Polarimeter wird genutzt, um zu überprüfen, ob ein Stoff optisch aktiv ist, also linear polarisiertes Licht drehen kann. Das Gerät enthält einen Polarisator zur Erzeugung linear polarisierten Lichts, sowie einen weiteren, drehbaren Filter, den Analysator.

Polysaccharid: Polysaccharide (= Vielfachzucker) zählen zur Makronährstoffgruppe der Kohlenhydrate. Polysaccharid-Moleküle bestehen aus vielen miteinander verknüpften Monosaccharid-Molekülen. Zu den Polysacchariden gehören z.B. Glykogen (= tierische Stärke) und Stärke (pflanzlicher Speicherstoff).

Präbiotika: Ballaststoffe, die vom Körper nicht verdaut werden können und so den Mikroorganismen im Verdauungstrakt als Nahrung zur Verfügung stehen, nennt man Präbiotika.

Probiotika: Verschiedene Mikroorganismen, die im menschlichen Verdauungstrakt erwünscht sind, da sie bei der Verwertung von Nahrungsbestandteilen helfen, werden unter dem Begriff Probiotika zusammengefasst.

Protonen/Kalium-Pumpe ($H^+/K^+-ATPase$): Die Protonen/Kalium-Pumpe befördert im Austausch mit Kalium-Ionen Protonen aus den Belegzellen in das Mageninnere.

Protonenpumpen-Hemmer: Protonenpumpen-Hemmer vermindern die Bildung der sauren Lösung im Magen, indem sie die Protonen/Kalium-Pumpe blockieren.

Pyranose-Form: Entsteht beim Ringchluss eines Monosaccharid-Moleküls ein Sechsring, liegt das Molekül in der sogenannten Pyranose-Form vor, da der Ring dem Pyran-Molekül ähnelt.

Q

Qualitative Analyse: Eine qualitative Analyse zeigt, ob ein bestimmter Stoff in einem Stoffgemisch enthalten ist.

Quantitative Analyse: Eine quantitative Analyse gibt Auskunft über die Konzentration eines Stoffes in einem Stoffgemisch.

R

Redoxtitration: Die Redoxtitration ist eine Konzentrationsbestimmung durch Titration. Bei einer Redoxtitration macht man sich die Fähigkeit eines Teilchens zunutze, Elektronen aufzunehmen (Reduktion) oder abzugeben (Oxidation).

Reduzierendes Disaccharid: Bei Molekülen der reduzierenden Disaccharide ist nur eines der beiden anomeren Kohlenstoff-Atome an der glykosidischen Bindung beteiligt. Dadurch ist eine freie Aldehyd-Gruppe im Molekül vorhanden, die reduzierend wirkt bzw. oxidiert werden kann.

Resorption: Die Aufnahme der gespaltenen Nahrungsbestandteile über die Darmschleimhäute bezeichnet man als Resorption. Die im Rahmen der Verdauung entstandenen Grundbausteine der Nährstoffe werden im Dünndarm in das Blut- und Lymphsystem resorbiert. Im Dickdarm erfolgt die Resorption von Mineralsalzen und Wasser ins Blut.

Retardmedikamente: Retardmedikamente sind Medikamente, deren Freisetzung über einen längeren Zeitraum verteilt und somit verzögert wird.

Retentionsfaktor R_f : Der Retentionsfaktor R_f ist ein Maß für die Wanderungsgeschwindigkeit einer Substanz während des chromatografischen Trennprozesses. Der R_f -Wert berechnet sich aus dem Quotienten der Laufstrecke der Substanz zur Laufstrecke des Fließmittels vom Startpunkt aus.

Retentionszeit: Die Zeit, in der eine Substanz bei einer Dünnschichtchromatografie eine bestimmte Strecke auf der DC-Platte zurücklegt, nennt man Retentionszeit. Die Retentionszeit ist umso länger, je besser die jeweilige Substanz mit der stationären Phase wechselwirkt.

Retrosynthese (retrosynthetische Analyse): Die Planung einer Synthese, die vom Ziel-Molekül rückwärts zu den Edukt-Molekülen erfolgt, nennt man Retrosynthese. Die Zerlegung des Ziel-Moleküls wird so geplant, dass günstige oder möglichst einfach herzustellende Edukt-Moleküle erreicht werden.

S

Saccharose: Saccharose (= Haushaltszucker) ist ein Disaccharid. In einem Saccharose-Molekül sind ein α -D-Glucopyranose- und ein β -D-Fructofuranose-Baustein miteinander verknüpft.

Schichtgitterantizidum: Die Gitterstruktur eines Schichtgitterantizidums sorgt für eine schonende Neutralisierung der salzsauren Lösung im Magen.

Schlüssel-Schloss-Prinzip: Es passen nur bestimmte Substrate in das aktive Zentrum eines Enzyms – so wie nur ein bestimmter Schlüssel in ein Schloss passt. Man spricht daher vom Schlüssel-Schloss-Prinzip.

Selbstmedikation: Als Selbstmedikation wird die Eigenbehandlung mit Arzneimitteln bezeichnet. Sie ist nur für rezeptfreie Medikamente sinnvoll.

Seliwanow-Probe: Mit der SELIWANOW-Probe lassen sich diejenigen Monosaccharide nachweisen, die eine Keto-Gruppe im offenkettigen Molekül tragen (Ketosen). Hierfür wird die Probe mit einer konzentrierten salzsauren Lösung versetzt und einige Tropfen einer Resorcinlösung ergänzt. Nach dem Erwärmen färbt sich die Lösung rot. Bei Monosacchariden mit Aldehyd-Gruppen im offenkettigen Molekül (Aldosen) verfärbt sich die Lösung nicht. Die Probe verläuft negativ.

Silberspiegelprobe: Aldehyde können mit der Silberspiegelprobe nachgewiesen werden. Dazu wird Silber(I)-nitrat-Lösung mit Ammoniaklösung versetzt, bis sich ein entstehender Niederschlag gerade wieder löst. Nach Zugabe der Probelösung wird vorsichtig erwärmt. Dabei werden die Aldehyd-Moleküle oxidiert und Silber(I)-Ionen reduziert. Das elementare Silber ist in Form eines Silberspiegels an der Glaswand zu beobachten.

Sodbrennen: Gelingt salzsaure Lösung aus dem Magen in die Speiseröhre und verätzt diese, führt dies zu einem brennenden Gefühl, dem Sodbrennen.

Spezifischer Drehwinkel $[\alpha]_D^t = \frac{\alpha}{l \cdot c}$
mit α = Drehwinkel, β = Konzentration des gelösten Stoffes und l = Länge des Probenrohrs. Der spezifische Drehwinkel eines Stoffes wird mithilfe eines

Polarimeters bestimmt. Er gibt die Drehung der Ebene von linear polarisiertem Licht beim Durchgang durch eine optisch aktive Substanz an.

Stärke: Stärke ist ein Polysaccharid und dient als Reservestoffkohlenhydrat in Pflanzen. Stärke-Moleküle sind aus Amylose- und aus Amylopektin-Molekülen aufgebaut. Diese bestehen aus miteinander verknüpften α -D-Glucopyranose-Molekülen.

Stationäre Phase: Die stationäre Phase ist die unbewegliche Phase bei einer Chromatografie. Sie besitzt eine sehr große Oberfläche, mit der Teilchen in Wechselwirkung treten können.

Stereoisomere: Stereoisomere sind Moleküle mit gleicher Molekülformel und Verknüpfung der Atome, die sich jedoch in der räumlichen Anordnung der Atome unterscheiden.

Substrat: Die Edukte, die in einer Stoffwechselreaktion von einem Enzym umgesetzt werden, nennt man Substrate.

Substratspezifität: Der Begriff Substratspezifität beschreibt das Phänomen, dass nur geeignete Substrat-Moleküle von einem Enzym umgesetzt werden können, da nur diese in das aktive Zentrum des Enzyms passen (Schlüssel-Schloss-Prinzip). Die Substratspezifität ist der Grund dafür, dass jedes Substrat-Molekül sein eigenes spezifisches Enzym für den Abbau benötigt.

T

Therapeutischer Konzentrationsbereich: Der therapeutische Konzentrationsbereich ist die Wirkstoffkonzentration im Blut, bei der ein Medikament den gewünschten Effekt auf die Körperzellen hat.

Titration: Mithilfe einer Titration lässt sich die unbekannte Konzentration einer Lösung bestimmen.

Trehalose: Trehalose (Pilzzucker) ist ein Disaccharid. Das Molekül ist aus zwei Molekülen α -D-Glucopyranose aufgebaut, die 1,1-glykosidisch miteinander verknüpft sind.

Tunnelproteine: Tunnelproteine ermöglichen einen passiven Stofftransport durch eine selektivpermeable Membran für Ionen und Moleküle, die aufgrund ihrer Größe oder Ladung sonst nicht passieren könnten. Die Tunnelprotei-

ne erleichtern deren Diffusion durch die Membran entlang dem Konzentrationsgefälle.

U

Ungesättigte Fettsäure-Moleküle: Ungesättigte Fettsäure-Moleküle haben eine oder mehrere Doppelbindung(en) zwischen den Kohlenstoff-Atomen der Fettsäure-Reste. Die Doppelbindungen sind meist Z-konfiguriert.

V

Verdauung: Unter Verdauung versteht man die Spaltung der aufgenommenen Nahrung in die Grundbausteine der Nährstoffe in den Organen des Verdauungssystems mithilfe verschiedener Enzyme.

Verdauungsenzym: Enzyme, die unter anderem langkettige Moleküle aus der Nahrung in kleinere, für den Körper verwertbare Moleküle spalten, nennt man Verdauungsenzyme.

Vitamine: Bei den Vitaminen handelt es sich um organische Wirkstoffe, die wasser- oder fettlöslich sein können. Vitamine sind lebenswichtige Mikronährstoffe, die sehr vielfältige Aufgaben als Schutz-, Regulator- und Wirkstoffe erfüllen.

Wirkstoff: Der arzneilich wirksame Bestandteil eines Medikaments ist der Wirkstoff. In Schmerzmitteln können das z.B. Acetylsalicylsäure (ASS), Ibuprofen oder Paracetamol sein.

Wirkungsdauer: Die Zeitspanne vom Zeitpunkt des Wirkeintritts bis zum Ende der Wirkung ist die Wirkungsdauer.

Wirkungsspezifität: Der Begriff Wirkungsspezifität beschreibt das Phänomen, dass nur eine bestimmte Reaktion von einem Enzym katalysiert wird.

Z

Zellatmung: Die Zellatmung ist ein mehrstufiger, exothermer Stoffwechselprozess zum Zweck der Energiebereitstellung. Unter aeroben Bedingungen wird in den Mitochondrien in mehreren biochemischen Schritten die energiereiche Glucose mit Sauerstoff zu den energiearmen Verbindungen Kohlenstoffdioxid und Wasser umgesetzt. Dabei wird der Energieträger Adenosintriphosphat (ATP) gebildet.

Stichwortverzeichnis

- Abhängigkeit** 107
 Acetylsalicylsäure 122, 123, 124, 125, 126, 130, 131, 132, 133, 136
 Adenosintriphosphat 60
 Adsorption 36
 aktives Zentrum 80, 98
 Aktivierungsenergie 10, 98
 Aldehyd 10, 13, 176, 177
 Aldehyd-Gruppe 10
 Aldose 177
 Alginatkugel 135
 Alkohol 10, 13, 176
 Alkoholkonsum 146
 allosterische Hemmung 83, 98
 allosterisches Zentrum 83
 Aminosäure 14, 26, 33, 59, 62, 63, 66
 Ammoniumcer(IV)-nitrat 52, 176
 amphiphil 11, 15, 132
 Amylase 78, 80, 86, 87
 Amylopektin 56
 Amylose 56
 Analgetikum 124, 125
 Analysator 40, 67
 Analyse 107, 130, 132, 141
 Anomer 50, 67
 Anomeren-Gleichgewicht 51
 anomeres Zentrum 50, 55, 67
 Antizidum 107, 110, 111, 114, 115, 140
 Antikatermittel 146
 Äquivalenzpunkt 12
 Arzneimittel 106, 107, 128, 134, 138, 141
 Arzneimittelwerbung 129
 Ascorbinsäure 34
 asymmetrisches Atom 67
 asymmetrisches Kohlenstoff-Atom 43, 45, 62
 ausgeglichene Energiebilanz 75
 ausgewogene Ernährung 92
 Ausgewogenheit 75
- Ballaststoff** 21, 28, 66, 99, 121
 Base 11
 Bauchspeicheldrüsensaft 75, 87, 99, 105
 Baustoff 21, 62, 66
 Belegzelle 111, 112, 113, 115, 140
 Bewertungskompetenz 179
 Bio 96
 biologische Kapazität 94
 Bio-Molekül 64
 Biot-Gesetz 42
 Blähung 119, 120
 BMI 61
 Bodymassindex 61
 Brennwert 61
- Calcium-Ion** 27
 Carbonsäure 10
 Carbonsäureamid 126, 127
 Carbonsäureester 14, 126
- Carboxy-Gruppe** 10
 Carotinoid 85
 Carrierprotein 88
 Cellulose 54
 Cellulose 57
 Chemikalienliste 164
 chiral 21, 40, 43, 47
 Chiralität 43
 Chiralitätszentrum 45, 46, 67
 Chlorid-Hydrogencarbonat-Austauscher 112
 Chromatografie 21
 Chromatogramm 37
 Clean-Eating 96
 Co-Chromatografie 36
 Contergan 41
 COX-Hemmstoff 136, 137
 Cyclooxygenase 107, 136, 137, 141
- Darmflora** 88
 Darmflora 121, 140
 Darmmikrobiom 75, 88, 99, 105, 121, 140
 Darmzotten 88
 Darreichung 134, 141
 Darreichungsform 107, 138, 141
 Delayed-Release-Partikel 135
 Denaturierung 75, 86
 Diabetes mellitus 61
 Diastereomer 21, 44, 50
 Dickdarm 75, 81
 Diffusion 75
 Diffusionshemmung 139, 141
 digitale Messwertverarbeitung 38
 digitale Modellierung 47, 53, 64
 Diminophenylhydrazin 52, 176
 Dipol-Dipol-Wechselwirkung 11
 Direktgranulat 138
 Disaccharid 15, 26, 54, 67, 176
 DNA 65
 Donator-Akzeptor-Konzept 13, 14
 Dosierung 129, 133, 137
 Drehwinkel 40, 42, 67
 Dreidimensionale Lebensmittelpyramide 93
 D- und L-Konfiguration 45, 46, 62
 Dünnarm 75, 81, 87, 88, 105
 Dünnarmzelle 85, 88, 89
 Dünnschichtchromatografie 33, 36, 37, 66, 133
- Eikar** 86
 Eisen(II)-chlorid 135
 Eisen(II)-chloridlösung 132, 133
 Eisen-Ion 27, 29
 elektrophil 14
 Emulgator 15, 87, 99
 Emulgierung 75, 87
 Enantiomer 21, 44, 67, 134, 137
 endotherme Reaktion 10
 Energiebilanz 92
- Energiedichte** 92, 99
 Energieerhaltungssatz 10
 Energieträger 21
 Energieumsatz 10
 Energieversorgung 60, 61, 66
 Entschäumer 107, 119, 120, 140
 Entsorgung 159
 Enzym 75, 78, 79, 80, 81, 82, 86, 98, 104, 107, 120, 134
 enzymatische Hydrolyse 80, 87, 98
 Enzymhemmung 75
 Enzymhydrolyse 140
 Enzym-Substrat-Komplex 80, 98
 Erkenntnisgewinnungskompetenz 179
 Ernährung 58, 59, 74, 75, 92, 94
 Ernährungskreis 93
 Ernährungstrend 95
 essenziell 63, 75, 92, 99
 Ester-Gruppe 14, 132
 Esterhydrolyse 14
 Esterkondensation 14
 ethische Argumentation 97
 exotherme Reaktion 10
 Extraktion 107, 130, 132, 141
- FEHUNO-Probe** 13, 49, 52, 67, 176
 Fett 14, 24, 26, 58, 61, 63, 66, 73, 21
 fettes Öl 14
 Fettfleckprobe 178
 fettlöslich 85, 89
 Fettsäure 14, 63
 Fischer-Projektion 44, 45, 46, 62, 67
 Fleischmalt 105
 Fließmittel 36
 Fotosynthese 60
 freier Zucker 59, 60
 Fructose 15, 48, 50, 52
 Fructoseintoleranz 88
 Fructose-Malabsorption 75, 88, 99, 104
 funktionelle Gruppe 10, 52
 Furanose 51, 67
- Galactose** 50
 Galle 75, 84, 87, 99
 Gallensäure 87, 89
 Gallensäure-Anion 85
 Gefahrenstoffdatenbank 18
 gehärtetes Fett 63
 Gesamtgleichung 12
 gesättigt 14, 63
 GESTIS 18
 gesunde Ernährung 92
 Gesundheit 97
 Gewebshormon 107, 136, 137, 141
 GHS 18, 160
 Gleichgewichtspfeil 11
 Globaler Hektar 94
- Glucose** 15, 48, 50, 52, 177
 Glykogen 56
 glykosidische Bindung 54, 55, 67
 GOD-Test 48, 52, 177
 grenzflächenaktiv 15
 Gummibärchen 58, 73
- halbquantitativ** 21, 34, 35, 66
 Hämoglobin 64
 Harnstoff 79
 Hawthorn-Projektion 50, 67
 Hefepilz 121
 Heilmittelwerbegesetz 128
 Helicobacter pylori 79, 117
 Hemmstoff 82, 98, 136, 137
 Hexokinase 104
 Hilfstoff 107, 124, 125, 132, 140
 HPLC 39
 H-Sätze 361, 362
 hydrophil 11, 89
 Hydroxid-Ion 11
 Hydroxy-Gruppe 10
 Hypothese 16
- Ibuprofen** 122, 124, 125, 131, 134, 137
 Indikator 11
 induced fit 81
 Injektion 138
 Iodometrie 34, 35, 66
 Ion-Dipol-Wechselwirkung 11
 invertebrat 14, 83, 136
 Isomaltulose 72
 Isomerie 10
- Karotte** 85
 Katalysator 10, 80
 Keto-Enol-Tautomerie 15, 52
 Keto-Gruppe 10
 Keton 10, 176
 Kerosin 177
 Kilojoule 92
 Klima 94
 Kohlenhydrat 15, 21, 24, 26, 48, 58, 60
 Kohlenstoffdioxid-Äquivalente 95
 Kommunikationskompetenz 179
 kompetitive Hemmung 82, 98
 kompetitiver Hemmstoff 137
 Kondensationsreaktion 62, 126, 141
 Konstitutionsisomere 50
- L-2-Aminocarbonsäure** 62, 66
 Laborgeräte 4
 Lactase 79, 118, 120
 Lactose 54, 73, 79
 Lactose-Unverträglichkeit 82, 104, 118, 120
 Latenzzeit 138, 139
 Lebensmittel 21, 24
 Lebensmittelanalyse 21, 32

- Lebensmittelauswahl 90, 91, 96, 99
 Lebensmittelchemie 20, 74
 Lebensmittelkennzeichnung 90
 Lebensmittelpyramide 93
 Lebensmittelsiegel 91
 Lebensmittelsatz 121
 linear polarisiertes Licht 42
 Lipase 86, 87
 lipophil 11, 89
 L-Konfiguration 45, 62
 LÖSUNG-Dispersionswechselwirkung 11
 Löslichkeit 125
 lyotische Lösung 178
- Magen** 81, 105, 116
 Magengeschwür 113, 140
 Magensaft 75, 84, 86, 111, 112, 113, 116, 138, 140
 magensaftresistent 135
 Magensäure 86, 99, 107, 110, 111, 112, 113, 115, 140
 Magenschleimhaut 113
 Makronährstoff 21, 24, 26, 62, 66, 178
 Maltase 80
 Maltose 54, 55, 78, 80
 Massenanteil 92, 99
 Maßlösung 12
 Medikament 110, 128, 140
 Medikamentenabhängigkeit 129, 141
 Medikamentenmissbrauch 129, 141
 Micelle 15, 85, 87, 89, 99
 Mikronährstoff 21, 27, 66
 Mikroorganismus 121
 Milchsäurebakterien 121
 Mineralsalz 21, 25, 27, 66
 Missbrauch 107
 mobile Phase 36
 Monosaccharid 15, 26, 50, 52, 67, 176
 Mundhöhle 81
 Mundspeichel 78
 Myoglobin 64
- Nachhaltigkeit** 75, 91, 94, 95, 97, 99
 Nachweis 13, 49, 52, 55, 132, 176, 178
 naturwissenschaftlicher Erkenntnisweg 16
 Nebenwirkung 111, 114, 115, 125, 128
 Neutralisationsreaktion 12
 nicht-reduzierend 49, 55, 67
 nukleophil 14
 nukleophile Addition 15
 Nutri-Score 91
- Oberflächenpannung** 120
- Oberflächenvergrößerung** 75, 86, 87, 99, 138
 ökologisch 96
 ökologischer Fußabdruck 75, 94, 95, 99
 Omeprazol 146
 optische Aktivität 40, 41, 42, 62, 67
 Oxidation 12
 Oxidationszahl 12
 Oxonium-Ion 11
- Packungsbeilage** 128
 Paleo-Ernährung 96
 Pankreassaft 87
 Paracetamol 122, 124, 125, 126, 131
 Pepsin 86
 Peptidbindung 14, 26, 62
 Periodensystem der Elemente 2
 Pharmakodynamik 124, 125
 Pharmakokinetik 138, 139
 Pharmazie 106
 pH-Wert 11, 34, 86
 pH-Lipoprotein-Partikel 85, 89
 pOH-Wert 34
 Polarimeter 40, 42, 67
 Polarisorator 40, 67
 Polymilchsäure 135
 Polysaccharid 26, 56, 67
 Povidon-Iodlösung 178
 Präbiotikum 107, 121, 140
 Probiotikum 107, 119, 121, 140
 Prostaglandin 136
 Protein 21, 24, 26, 58, 59, 62, 63
 Protein-Datenbank 64
 Protein-Nachweis 178
 Proton 112
 Protonenakzeptor 11
 Protonendonator 11
 Protonenpumpe 111
 Protonenpumpen-Hemmer 107, 114, 115, 140, 146
 P-Sätze 162, 163
 Pyranose 51, 67
- qualitativ** 21, 33, 34, 35, 66, 132, 141
 Qualitätskontrolle 132
 quantitativ 21, 33, 34, 35, 66, 133, 141
 Quelle 30
- Reaktionsenergie** 10
 Reaktionsgeschwindigkeit 82, 98
 Reaktionstyp 127
 Redoxreaktion 12
 Redoxpotential 21, 66
 Reduktion 12
 reduzierend 49, 52, 55, 67
 regional 96
 Reinheitsgrad 133
- Resorption** 75, 84, 85, 88, 99
 Retardmedikament 139
 Retentionsfaktor 36
 Retentionszeit 36
 Retinol 27
 Retrosynthese 127, 141
 reversibel 11, 14, 83, 137
 rezeptfrei 128, 129
 R_f-Wert 33, 36, 37
- Saccharose** 15, 26, 49, 54, 65
 Sachkompetenz 179
 saisonal 96
 Salicylsäure 132, 133
 Säure 11
 Säure-Base-Reaktion 11
 Schichtgitterantizidum 114
 Schiffsche Probe 13, 52
 Schlüssel-Schloss-Prinzip 75, 80, 98
 Schmerz 136
 Schmerzempfinden 107
 Schmerzmittel 106, 107, 122, 124, 126, 131, 136, 137, 138, 140, 141
 Schmerzmittelkonsum 147
 Schmerzmittelmissbrauch 147
 Schmerzmittelwirkstoff 130, 132, 141
 Schnelltest 34, 66
 Seife 15
 sekundärer Pflanzenstoff 21, 28, 66
 Selbstmedikation 107, 128, 129, 141
 SELINKOW-Probe 52, 177
 Sicherheitsvorkehrungen 17
 Silber Spiegelprobe 13, 52, 67, 177
 Silikon 119
 Sodbrennen 107, 110, 113, 114, 140
 Speichel 75, 86
 Speicherung 88, 89
 spezifischer Drehwinkel 42
 Spiegelbildisomerie 44
 Sprengmittel 147
 Stärke 56, 78, 147
 Stärke-Nachweis 178
 stationäre Phase 36
 Stereoisomer 21
 Stereoisomerie 44
 Stoffmengenkonzentration 12
 Stop-Motion-Film 47
 Substrat 80, 98
 Substratkonzentration 82
 Substratspezifität 75, 79, 82, 98
 Suchmaschine 31
 Synthese 107, 123, 126, 141
- Tablette** 138
 Teilgleichung 12
 Tensid 15
 Teststreifen 21, 32, 34, 48
 Thallidomid 41
- therapeutischer Konzentrationsbereich 138
 Titration 12, 33, 35, 38, 66, 131, 133
 Transport 85, 88
 Transportprotein 75, 99
 Trehalose 54
 Struktur-Eigenschafts-Konzept 11
 Trypsin 87
 Tunnelprotein 88
- ungesättigt** 14, 178
 Urease 79
- Veganismus** 96
 Vegetarismus 96
 Veggie 105
 Verdauung 74, 75, 78, 84, 116
 Verdauungsenzym 120, 140
 Verdauungshilfsmittel 107, 118, 120, 140
 Verdauungszeit 75, 84, 86, 99
 Verdauungssystem 81
 Verdauungszyklus 86, 105
 verschreibungspflichtig 128
 Vitamin 21, 25, 27, 66, 85, 89
 Vitamin A1 27
 Vitamin C 33, 34, 72, 85
 Vitamin D3 25
 Vollacetal 15
 Völlegefühl 120
 Vorlage 12
- Wasserstoffbrücke** 11
 Werbung 128
 Wert 96
 Wirkmechanismus 136
 Wirkstoff 107, 124, 125, 132, 140
 Wirkstoffgehalt 133
 Wirkstoffkonzentration 138
 Wirkung 110, 114, 134, 141
 Wirkungsdauer 138, 139
 Wirkungseintritt 138
 Wirkungsspezifität 75, 82, 98
- Zellatmung** 60
 Zellmembran 88
 Zucker 15, 59
 zugesetzter Zucker 59
 Zusammensetzung 122, 124
 Zusatzstoff 21, 28, 66
- β-Carotin** 85

Bildnachweis

AdobeStock / airborne77 – S. 118; - / bilderzweig – S. 117; - / denboma – S. 81; - / Matthias Enter – S. 90; - / fizkes – S. 134; - / Henrie – S. 116; - / Axel Kock – S. 112; - / Matsabe – S. 138; - / Poligoone – S. 84; - / SKfoto – S. 78; Alamy Stock Photo / Art of Drawing – S. 29; - / Classic Picture Library – S. 41;

Claudia Bohrmann-Linde, Wuppertal – S. 38 (3), 52, 177;

Demeter e.V., Darmstadt – S. 91; Dreamstime / Oguzaral – S. 81; Dreidimensionale DGE-Lebensmittelpyramide, Copyright: Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V., Bonn – S. 93;

Fotolia / fefufoto – S. 145;

GESTIS / IFA / DGUV – S. 18 (3), 19;

Getty Images Plus / Hemera, Ulrich Mueller – S. 159; - / iStockphoto, AlexRaths – S. 20/21; - / iStockphoto, alicjane – S. 29; - / iStockphoto, Leonid Andronov – S. 78; - / iStockphoto, anitage – S. 28; - / iStockphoto, ballykdy – S. 106/107; - / iStockphoto, David Bautista – S. 39; - / iStockphoto, bernjauer – S. 24; - / iStockphoto, Bezvershenko – S. 58; - / iStockphoto, egal – S. 48; - / iStockphoto, elenabs – S. 113; - / iStockphoto, filmfoto – S. 40; - / iStockphoto, FORGEM – S. 139; - / iStockphoto, leila_divine – S. 119; - / iStockphoto, libre de droit – S. 75; - / iStockphoto, los_angela – S. 24; - / iStockphoto, Daniel Lundgren – S. 94; - / iStockphoto, Maksym Narodenko – S. 44; - / iStockphoto, robertse – S. 77; - / iStockphoto, Tharakorn – S. 110; - / iStockphoto, Tigatelu – S. 113; - / iStockphoto, ttsz – S. 63 (2); - / iStockphoto, umesh chandra – S. 35; - / iStockphoto, viach80 – S. 77; - / iStockphoto, Viktoriia Ilna – S. 121;

Falk Helbing / Dr. Thomas Kappel, Freudenstadt – S. 178 (2); Alina Hermann, Eichstätt – S. 47;

Illumina-Chemie.de – S. 35, 66; iStockphoto / mariusFM77 – S. 44;

Michaela Kampner, Bochum – S. 37; Klaus-Dieter Krüger, Friedland – S. 176;

Mauritius Images / Alamy Stock Photos, Mehmet Çetin – S. 32; - / Alamy Stock Photos, Lothar Drechsel – S. 34; - / Alamy Stock Photos, Angela Serena Gilmour – S. 32; - / Alamy Stock Photo, Morley Read – S. 143; - / Alamy Stock Photos, Thiago Santos – S. 32; Nico Meuter, Erkrath – S. 52, 177;

Odyssey, Wavefunction Inc., 1991-2023 – S. 41, 64, 65;

picture-alliance / dpa – S. 91; - / Fotoreport Fairtrade – S. 91;

RCSB Protein Data Bank / Rutgers, The State University of New Jersey – S. 64;

Johannes Schmidkonz, Eichstätt – S. 178; Margit Schmidt, Ingolstadt – S. 76, 178;

Science Photo Library / Andrew Lambert Photography – S. 176; - / Biografix, Kenneth Edward – S. 80; - / Chillmaid, Martyn F. – S. 176, 178; - / Clarivan, Carlos – S. 104; - / Dennis Kunkel Microscopy – S. 57; Shutterstock / fizkes – S. 122; - / sergey kolesnikov – S. 130 (2); - / Jefri Liasta – S. 36; Stephan Spitzer / Medizinische Illustration, Frankfurt a. M. – S. 136, 137; SUMA-EV & MetaGer, Hannover – S. 31;

Thomas Weingand, Gmund – S. 177.

Mediencodes

S. 93 / Dreidimensionale DGE-Lebensmittelpyramide, Copyright: Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V., Bonn / 06041-24

S. 126 / Mauritius Images / Science Source / 06041-42

S. 135 / Thomas Weingand, Gmund / 06041-40

Mono- und Disaccharide nachweisen

Es gibt verschiedene Methoden, um Mono- und Disaccharide nachzuweisen (vgl. S. 48 u. 52). Die Nachweise beruhen meist auf bestimmten funktionellen Gruppen in den Molekülen, wie Aldehyd-, Keto- oder Hydroxy-Gruppen. Häufig werden Monosaccharide und reduzierende Disaccharide nachgewiesen. Die Bausteine von nicht-reduzierenden Disacchariden und von Polysacchariden können nachgewiesen werden, indem die Moleküle zunächst hydrolysiert und dadurch in ihre einzelnen Monosaccharid-Bausteine gespalten werden.

Der Ammoniumcer(IV)-nitrat-Test



Beim Ammoniumcer(IV)-nitrat-Test handelt es sich um einen Alkohol-Nachweis, wobei eine Rotfärbung zu beobachten ist.

VORGEHEN

Geben Sie 10 g Ammoniumcer(IV)-nitrat in 25 mL Salpetersäurelösung ($c = 2 \text{ mol/L}$) und erwärmen Sie die Lösung leicht. Geben Sie einige Tropfen zu 3 mL der zu testenden Stoffprobe.



negativ



positiv

Der Dinitrophenylhydrazin-Test



Mit Dinitrophenylhydrazin können Aldehyde und Ketone nachgewiesen werden. Sie reagieren in einer nukleophilen Substitution zu sogenannten Hydrazonen, wobei ein gelb-oranger Niederschlag entsteht.

VORGEHEN

Geben Sie 0,1 g 2,4-Dinitrophenylhydrazin in 20 mL Salzsäurelösung ($c = 2 \text{ mol/L}$). Geben Sie einige Tropfen zu 3 mL der zu testenden Stoffprobe.



negativ



positiv

Die FEHLING-Probe



Die FEHLING-Probe beruht auf der Oxidation von Aldehyd-Molekülen. Aufgrund des Gleichgewichts zwischen Ketosen und Aldosen in basischer Lösung werden Ketosen zum Teil in isomere Aldosen umgewandelt. Daher können auch Ketosen nachgewiesen werden. Es entsteht der orange-rote Feststoff Kupfer(I)-oxid.



negativ



positiv

VORGEHEN

Mischen Sie je 2 mL FEHLING-I-Lösung (Kupfer(II)-sulfat-Lösung) und FEHLING-II-Lösung (Lösung mit Kaliumnatriumtartrat und Ammoniak) in einem Reagenzglas. Geben Sie ca. 1 mL bzw. eine Spatelspitze der zu testenden Stoffprobe hinzu und erwärmen Sie vorsichtig über dem Gasbrenner.

Hinweis: Alternativ können Sie den Nachweis auch auf einem Löffel über einem Teelicht durchführen. Verwenden Sie dazu wenige Tropfen der beiden FEHLING-Lösungen im Verhältnis 1:1.

Die Silberspiegelprobe



Bei der Silberspiegelprobe werden Aldehyd-Moleküle oxidiert und Silber-Kationen reduziert. An der Reagenzglaswand entsteht ein dünner Überzug aus elementarem Silber. Da Ketosen in basischer Lösung in einem Gleichgewicht zu Aldosen stehen, können diese ebenfalls mit der Silberspiegelprobe nachgewiesen werden.

VORGEHEN

Geben Sie 5 mL Silber(I)-nitratlösung ($c = 0,1 \text{ mol/L}$) in ein sehr sauberes Reagenzglas. Geben Sie tropfenweise Ammoniaklösung ($c = 12,5 \text{ mol/L}$) dazu, bis sich der gebildete Niederschlag wieder löst. Geben Sie 1 mL der Stoffprobe hinzu und schütteln Sie kurz. Erwärmen Sie nun vorsichtig und ohne Schütteln im Wasserbad bei ca. 70°C .



positiv

Die SELIWANOW-Probe



Mit der SELIWANOW-Probe können Aldosen und Ketosen unterschieden werden. Liegt eine Ketose vor, ist eine Rotfärbung zu beobachten.

VORGEHEN

Geben Sie 5 mL Resorcin-Reagenz (Resorcin in Ethanol mit konzentrierter Salzsäurelösung) und 3 mL der zu untersuchenden Stoffprobe in ein Reagenzglas und schütteln Sie kurz. Erwärmen Sie nun vorsichtig und ohne Schütteln im Wasserbad bei ca. 60°C .



positiv

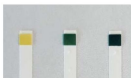
Der GOD-Test



Beim GOD-Test handelt es sich um einen enzymatischen Nachweis von Glucose. Durch die enzymatische Spaltung des Glucose-Moleküls und einigen Folgereaktionen entsteht ein blau-grüner Farbstoff auf dem Teststäbchen.

VORGEHEN

Halten Sie ein GOD-Teststäbchen in die zu untersuchende Stoffprobe und prüfen Sie anschließend die Farbe des Testfelds auf dem Teststäbchen.



GOD-Test: links negativ, Mitte und rechts positiv

Übersicht

Nachweis	nachgewiesene Gruppen	Beobachtung
Ammoniummer(IV)-nitrat-Test	Alkohole	Rotfärbung
Dinitrophenylhydrazin-Test	Aldehyde und Ketone	gelb-orangener Niederschlag
FEHLING-Probe	Aldehyde, reduzierende Zucker	orange-roter Niederschlag
Silberspiegelprobe	Aldehyde, reduzierende Zucker	Überzug aus Silber
SELIWANOW-Probe	Ketosen	Rotfärbung
GOD-Test	Glucose	blau-grüne Farbe

Weitere Makronährstoffe nachweisen

Fette, Kohlenhydrate und Proteine gehören zu den sogenannten Makronährstoffen (vgl. Kap. 2.1). Für die verschiedenen Makronährstoffe gibt es spezifische Nachweismethoden.

Stärke-Nachweis



Eine Mischung aus Wasser, Iod und Kaliumiodid ergibt die sogenannte **LUGOLSche** Lösung. Verfärbt sich die Lösung nach dem Kontakt mit einem stärkehaltigen Lebensmittel von gelb-bräunlich zu dunkelblau, ist der Nachweis positiv. Die blaue Färbung wird auf Teilchen-Ebene durch die Iodid-Ionen hervorgerufen, die sich in die Helix des Amylose-Moleküls einlagern.

VORGEHEN

Geben Sie einige Tropfen Iod-Kaliumiodidlösung (LUGOLSche Lösung) auf die zu testenden Nahrungsmittel.



Käse: negativ



Reis: positiv

Fettfleckprobe



Fett hinterlässt einen sichtbaren **Fleck** auf Löschpapier, während die meisten anderen Flüssigkeiten schnell verdunsten.

VORGEHEN

Geben Sie einige Tropfen oder ein kleines Stück des zu testenden Stoffes auf ein Löschpapier. Umranden Sie die Flecken mit einem Stift. Ist Fett in der Probe vorhanden, bleibt der Fleck auf dem Papier sichtbar. Die Fettflecken sind im Gegenlicht durchscheinend.



Reis: negativ



Schmalz: positiv

Protein-Nachweis



Liegen Proteine in einer Lösung vor, tritt bei der **Biuret-Probe** eine Violettfärbung auf. Die Färbung beruht auf der Reaktion der Peptid-Bindungen mit Kupfer-Ionen.

VORGEHEN

Geben Sie 5 mL einer 3%igen Natronlauge zu 1 mL Probe-Lösung. Verschließen Sie das Reagenzglas mit einem Stopfen und schütteln Sie vorsichtig. Geben Sie anschließend 7 Tropfen Kupfer(II)-sulfatlösung hinzu. Erwärmen Sie die Mischung vorsichtig über dem Bunsenbrenner.



negativ



positiv

INFO Alternativ lassen sich Proteine auch einfach durch **Ausfällen mit sauren Lösungen** nachweisen.



negativ



positiv

Nachweis ungesättigter Fettsäure-Reste



Die Doppelbindungen in den Fettsäure-Resten reagieren mit den Iod-Molekülen aus der **Povidon-Iodlösung**. Die Lösung wird dadurch entfärbt.

VORGEHEN

Geben Sie 5 mL oder 1 Löffelspatel der Fettprobe in ein Reagenzglas. Geben Sie 20 mL 5%ige Essigsäurelösung sowie 2 Tropfen Povidon-Iodlösung hinzu. Verschließen Sie die Reagenzgläser mit Gummistopfen und schütteln Sie kräftig für 30 Sekunden. Warten Sie anschließend noch 2 Minuten und geben Sie dann mit einer Tropfpipette jeweils ca. 1 mL Stärkelösung hinzu.



negativ



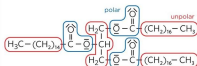
positiv

Kompetenzbereiche im Fach Chemie

Sachkompetenz

Sie umfasst das Wissen um naturwissenschaftliche Konzepte, Theorien und Verfahren sowie das Können, diese in fach- und alltagsbezogenen Anwendungsbe-
reichen anzuwenden. Zentral ist hierbei, Beobachtungen auf der **Stoffebene** auf der **Teilchenebene** modellhaft zu deuten.

Fette bzw. fette Öle sind lipophil und hydrophob.
Fett-Moleküle sind überwiegend unpolar und können mit anderen unpolaren Molekülen wechselwirken.



Kommunikationskompetenz

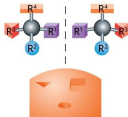
Sie umfasst das Wissen und das Benutzen von Fachsprache sowie von fächerspezifischen Darstellungs- und Argumentationsformen. So können fachbezogene Informationen erschlossen, adressaten- und situationsgerecht dargestellt und vermittelt werden. Hierbei spielt auch die Fähigkeit zur Recherche in analogen und digitalen Medien sowie die Nutzung dieser Medien eine entscheidende Rolle.

Sucheinstellungen Datenbankauswahl

Titelschwerpunkt		Index
Verfasser		Index
Schlagerwort		Index
Alle Felder		Index

Erkenntnisgewinnungskompetenz

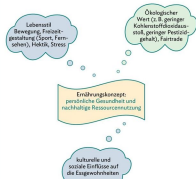
Sie umfasst das Wissen um naturwissenschaftliche Denkweisen und Arbeitsweisen und die Fähigkeit, diese zu beschreiben, zu erklären und zu verbinden. So können Erkenntnisprozesse in ihren Möglichkeiten und Grenzen nachvollzogen bzw. gestaltet werden. Neben dem Experiment kommt dabei dem Modellieren eine entscheidende Bedeutung beim Entwickeln von Fragestellungen und bei der Überprüfung von Hypothesen zu.



Biologische Aktivität der Enantiomere am aktiven Zentrum eines Enzyms

Bewertungskompetenz

Sie umfasst das Wissen um fachliche und überfachliche Blickwinkel und Bewertungsverfahren sowie das Können, diese zur Beurteilung von Aussagen bzw. Daten anhand verschiedener Kriterien zu verwenden. So können Meinungen begründet gebildet und Entscheidungen reflektiert getroffen werden. Dabei ist die persönliche, gesellschaftliche und ethische Perspektive grundlegend.





06041

ISBN 978-3-661-06041-5



9 783661 060415